



TUGAS AKHIR – TM 141585

**PEMODELAN DAN ANALISA ENERGI LISTRIK
YANG DIHASILKAN MODEL MEKANISME
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG
LAUT (PLTGL) TIPE
*PELAMPUNG-PIEZOELECTRIC***

YABES DAVID LOSONG
NRP 2111 100 157

Dosen Pembimbing
Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT – TM 141585

**MODELING AND ELECTRICAL ENERGY
GENERATED ANALYSIS BY MECHANISM OF
OCEAN WAVE POWER PLANT WITH
BUOY-*PIEZOELECTRIC* TYPE**

YABES DAVID LOSONG
NRP 2111 100 157

Academic Supervisor
Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

Department of Mechanical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

**PEMODELAN DAN ANALISA ENERGI LISTRIK YANG
DIHASILKAN MODEL MEKANISME PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT (PLTGL) TIPE
PELAMPUK-PIEZOELECTRIC**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Vibrasi dan Sistem Dinamis
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Yabes David Losong
Nrp. 2111 100 157

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr Wiwiek Hendrowati, ST., MT (Pembimbing)
(NIP. 197004121997032003)
2. Dr.Eng. Harus L.G., ST., M.Eng (Penguji 1)
(NIP. 197505111999031001)
3. Aida Annisa Amin Daman, ST., MT (Penguji 2)
(NIP. 198907052015042005)
4. Moch. Solichin, ST., MT (Penguji 3)
(NIP. 198908172015041003)

SURABAYA
Januari, 2016

PEMODELAN DAN ANALISA ENERGI LISTRIK YANG DIHASILKAN MODEL MEKANISME PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT (PLTGL) TIPE PELAMPUNG-PIEZOELECTRIC

Nama Mahasiswa : Yabes David Losong
NRP : 2111100157
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

Abstrak

Permasalahan energi merupakan masalah yang dari dulu diperbincangkan karena sumber energi yang tersedia di alam sudah sangat terbatas, sehingga diperlukan sumber energi yang tidak terbatas dan ramah lingkungan seperti gelombang laut yang digunakan sebagai pembangkit listrik. Salah satu media energy converter yang masih dikembangkan dan diteliti saat ini adalah material piezoelectric, sehingga pengkajian elemen PZT belum selesai hingga saat ini.

Pada tugas akhir ini dimodelkan dan dianalisa energi listrik bangkitan yang akan dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) dengan tipe pelampung-piezoelectric. Pergerakan gelombang laut sebagai eksitasi mekanisme menggerakkan pelampung yang terletak dipermukaan air laut. Gerakan naik turun gelombang yang bergerak akan diteruskan ke sebuah massa pada mekanisme PLTGL. Massa tersebut menerima gaya bangkitan dan menyebabkan gerakan naik turun yang menggerakkan material piezoelectric dan mengalami defleksi karena pergerakan gelombang air laut. Defleksi yang terjadi akan menghasilkan energi listrik bangkitan yang diteliti. Pada penelitian ini dilakukan variasi tinggi gelombang sebesar 2 cm, 6 cm, dan 10 cm. Kemudian variasi frekuensi gelombang laut sebesar 0,8 Hz, 1 Hz, 1,2 Hz serta variasi jumlah

piezoelectric sebesar 5, 10, dan 15 buah agar mendapatkan energi bangkitan yang optimum.

Hasil dari tugas akhir ini adalah terciptanya pemodelan dan analisa energi dari model PLTGL tipe pelampung-piezoelectric yang mampu menghasilkan grafik respon antara lain displacement, kuat arus, voltase dan daya listrik bangkitan terhadap waktu. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dihasilkan bahwa tinggi dan frekuensi gelombang laut serta jumlah elemen PZT mempengaruhi daya bangkitan yang dihasilkan pemodelan ini. Daya optimum yang dihasilkan model ini adalah sebesar 0,4648 watt pada frekuensi gelombang 1 Hz, tinggi gelombang 10 cm dan jumlah PZT sebanyak 15 buah.

Kata kunci : *Renewable Energy*, energi listrik bangkitan, *energy harvesting*, *cantilever piezoelectric*, PLTGL, gelombang laut.

MODELING AND ELECTRICAL ENERGY GENERATED ANALYSIS BY MECHANISM OF OCEAN WAVE POWER PLANT WITH BUOY-PIEZOELECTRIC TYPE

Student Name : Yabes David Losong
NRP : 2111100157
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS
Adviser Lecturer : Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

Abstract

Energy problem is an issue from long time ago was discussed as a source of energy available in nature is very limited, so it requires a source of unlimited energy and environment friendly like ocean waves which used as a power plant. One of media energy converter that still developing and scrutinized today is Piezoelectric material, so the studies regarding PZT material has not been completed yet.

In this final project was modeled and analyzed the electrical energy generation that generated by ocean wave power plant with buoy-piezoelectric type. The movement of ocean wave as an excitation of the mechanism was located on the surface of seawater. Motion up and down of the wave will be forwarded to a mass in the mechanism. The mass receives force generation of sea wave and cause up-down movement of piezoelectric material and deflection due the movement of sea wave. Deflection of piezoelectric that occurs will generate electrical energy and will be studied. In this research, the variation of wave height are 2 cm, 6 cm, and 10 cm. Then the frequency variation of sea waves are 0.8 Hz, 1 Hz and 1.2 Hz. And variety of piezoelectric number are 5, 10, and 15 pieces in order to

obtain optimum energy generated.

Result of this undergraduate thesis are the establishment of modeling and energy analysis of the ocean wave power plant with buoy-piezoelectric type model that capable to produce graphs include displacement's, voltage's, current's and power generation graph over the time. From the research that has been done, the result show height and frequency of ocean wave and the number of piezoelectric element affecting the power generation. Optimum power generated by this model is 0.4648 watts at ocean frequency 1 Hz, wave height 10 cm and number of PZT is 15 pieces.

Key words : Renewable energy, electrical power generate energy harvesting, cantilever piezoelectric, ocean wave power plant, ocean wave

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas hikmat dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir strata (S1) dengan judul “Pemodelan dan Analisa Energi Listrik yang Dihasilkan Model Mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) Tipe Pelampung-Piezoelectric” ini.

Laporan tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan kelulusan pendidikan sarjana S-1 di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. terselesaikannya laporan ini tentu tak lepas dari dorongan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena penulis juga ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang sangat dalam kepada:

1. **Tuhan Yesus Kristus**, tidak ada kata-kata yang mampu melukiskan apa yang telah diperbuatNya dalam kehidupan penulis.
2. **Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.** selaku dosen pembimbing yang selalu meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk tidak henti-hentinya membimbing dan mendidik penulis hingga tugas akhir ini selesai dengan baik.
3. **Ir. Frederik Losong** dan **Hermin**, selaku kedua orang tua penulis yang tidak pernah berhenti memotivasi dan mendoakan penulis hingga saat ini.
4. **Nathania Helsa F. Losong**, adik tercinta yang selalu mendukung didalam doa dan bantuan materil.
5. **Dr.Eng. Harus Laksana Guntur, ST., M.Eng, Aida Annisa Amin Daman, ST., MT., dan Moch. Solichin, ST., MT.** selaku dosen penguji yang telah menyediakan waktu, saran dan masukan pada laporan tugas akhir ini.
6. **Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng.** selaku dosen wali penulis dan **Prof. Dr.Eng. Ir. Prabowo, M.Eng** yang selalu memberikan nasehat selama berkuliah.

7. **Joenta Indraswara, ST.** yang membantu memberikan referensi untuk penyelesaian tugas akhir.
8. Teman-teman **17of17 Surabaya**, yang sama-sama mahasiswa perantauan dari Makassar dan sudah menjadi keluarga besar bagi penulis.
9. **Achmad Rizal Mustaqim, Darosa Elfrida, Yakob Simanjuntak, ST.** dan **Azmil Muftaqor Imami, ST** yang telah mendukung dan menyediakan keinginan untuk memuaskan kebutuhan pangan dari penulis.
10. **Keluarga rohani Gereja Mawar Sharon daerah ITS-Unair** yang selalu mendorong dan mendoakan penulis untuk menjadi pribadi yang lebih baik.
11. **Keluarga AOG-6 Bandung**, yang telah memberikan *hospitality* dan *unforgettable experience* untuk penulis selama penulis berada di kota Bandung.
12. **Kevin Soesilo, Laurentius Putra, Jeffrey, Hiro, Hendy Fernanda, Bill Febrian, dan Jofie** yang bersama-sama belajar tentang tujuan kehidupan.
13. **Rekan-rekan ITS for Harvard National Model United Nations 2015 “The History Maker” dan 2016** yang selalu memberikan sukacita selama penulis berkuliah.
14. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin ITS yang telah memberikan banyak ilmu pada penulis dalam hal keteknikan dan kehidupan selama perkuliahan penulis.
15. Seluruh Staff dan Karyawan Teknik Mesin ITS yang telah banyak membantu penulis selama menjadi mahasiswa, terima kasih atas dedikasinya yang luar biasa.
16. Rekan-rekan Laboratorium Vibrasi dan Sistem Dinamis: **Yogi, Udin, Ucup, Sinta, Pak Made, Pak Yoga, Pak Rohman, Aryo, Hilda dan Yunita.**
17. Rekan-rekan Laboratorium Design Otomotif : **Angga, Azhar, Indira, Mas Akif, Simen, Mas Afif, Aul, Muklis, Ika, Tika** dan semua warga Republik Sulap yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

18. Saudara, teman, rekan, serta sahabat seperjuangan Teknik Mesin **angkatan M-54** yang selalu memberi banyak dukungan kepada penulis dalam berbagai cara, semoga silaturrahi ini terjaga hingga tutup usia.
19. **Aulia Wardhani, ST., Arizal Dimas, dan Gita Khairina** yang terus memberikan semangat kepada penulis
20. Rekan-rekan dan senior **DIMENSI** yang telah memberikan dukungan yang sangat besar serta ladang ilmu yang sangat besar.
21. Kelompok KK, **Mas Ucup, Rony, Romi, Nando, dan Ricky**
22. Kelompok PIK 2014, **Edo, Genheart, Jevta, Jacob, dan Raden**
23. Mas **Akbar Masyan Makka ST.**, selaku SC penulis yang membimbing penulis ketika masih mahasiswa baru di Teknik Mesin.
24. Teman-teman kos marina: **Ridwan, Akbar, Aby, Remon, Ayub, Fernando, Gerald dan Fajar** yang selalu mewarnai kosan marina.
25. Seluruh pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Besar harapan agar tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kehidupan dan siapa saja yang membutuhkan. Penulis juga tak henti-hentinya menunggu kritik dan saran mengenai tugas akhir ini. Semoga Tuhan memberkati kita semua senantiasa.

Terima Kasih

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR GRAFIK.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Kajian Terdahulu.....	5
2.2 Dasar Teori.....	10
2.2.1 Derajat Kebebasan.....	10
2.2.2 Teori Gelombang Laut.....	13
2.2.3 PIEZOELECTRIC.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Tahapan Penelitian.....	25
3.2 PENJELASAN.....	26
3.2.1 STUDI LITERATUR.....	26
3.2.2 IDENTIFIKASI PERMASALAHAN.....	27
3.2.3 PEMODELAN MEKANISME.....	27
3.2.4 Simulasi Pemodelan PLTGL.....	29
3.2.5 Penentuan Variasi Pengujian.....	34
3.2.6 Analisa dan pembahasan.....	34
3.2.7 Kesimpulan.....	34

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1 Mekanisme PLTGL Tipe Pelampung-Piezoelectric.....	36
4.1.1 Contoh Perhitungan.....	38
4.2. Analisa Pemodelan.....	41
4.2.1 Gaya Gelombang Laut dengan Variasi Frekuensi dan Perpindahan Pelampung Terhadap Gaya Gelombang Laut dengan Variasi Frekuensi dan Tinggi Gelombang.....	42
4.2.2 Displacement massa 1 pada masing-masing frekuensi dengan Variasi Jumlah PZT.....	44
4.2.3 Energi Bangkitan PZT Pada Masing-masing Frekuensi Dengan Variasi Jumlah PZT.....	48
4.3 Pembahasan.....	55
4.3.1 Pengaruh Tinggi Gelombang, Frekuensi dan Jumlah PZT Terhadap Perpindahan Massa 1.....	55
4.3.2 Pengaruh Tinggi Gelombang, Frekuensi, dan Jumlah PZT Terhadap Energi Listrik yang Dihasilkan.....	57
4.4 Skala Mekanisme.....	63
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	 65
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA.....	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema mekanisme VEH yang dirancang (a) tampak depan, (b) prototype.....	5
Gambar 2.2 Grafik perbandingan voltase bangkitan terhadap frekuensi getar.....	6
Gambar 2.3 Cantilever beam dengan sensor Piezoelectric.....	6
Gambar 2.4 (a) Grafik voltase bangkitan terhadap waktu, (b) grafik letak pembebanan pada cantilever beam terhadap energy bangkitan.....	7
Gambar 2.5 Mekanisme two-stage energy harvesting.....	8
Gambar 2.6 Pemodelan heaving-based energy harvester.....	8
Gambar 2.7 Grafik tinggi gelombang laut terhadap energi bangkitan.....	9
Gambar 2.8 (a) Skema mekanisme, (b) Skema dari aplikasi penelitian.....	10
Gambar 2.9 Hasil dari pemodelan mekanisme penelitian.....	10
Gambar 2.10 Sistem dengan satu derajat kebebasan (1 d.o.f) ...	11
Gambar 2.11 Sistem dengan satu derajat kebebasan (2 d.o.f) ...	11
Gambar 2.12 Sistem getaran multi derajat kebebasan.....	11
Gambar 2.13 Free Body Diagram multi derajat kebebasan.....	12
Gambar 2.14 Karakteristik ombak	14
Gambar 2.15 Free body diagram pada pelampung.....	16

Gambar 2.16 Elemen Piezoelectric	19
Gambar 2.17 Sifat mekanik pada elemen piezoelectric.....	21
Gambar 2.18 Free Body Diagram dari Cantilever Piezoelectric	21
Gambar 3.1 Diagram alir tugas akhir secara global.....	26
Gambar 3.2 Pemodelan mekanisme (a). pada kolam, dan (b) tampak 3D.....	27
Gambar 3.3 Bagian-bagian dari mekanisme.....	28
Gambar 3.4 Gerak mekanisme.....	30
Gambar 3.5 Free body diagram gerak mekanisme.....	31
Gambar 3.6 Free body diagram 1	31
Gambar 3.7 Free body diagram 2.....	32
Gambar 4.1 Mekanisme PLTGL tipe Pelampung-Piezoelectric.	37
Gambar 4.2 Grafik pergerakan gelombang laut dengan frekuensi 0,8 Hz.....	41
Gambar 4.3 Grafik pergerakan gelombang laut dengan variasi frekuensi.....	42
Gambar 4.4 Grafik pergerakan pelampung dengan frekuensi gelombang 0,8 Hz.....	43
Gambar 4.5 Grafik pergerakan pelampung dengan variasi frekuensi gelombang.....	43
Gambar 4.6 Grafik pergerakan massa 1 dengan frekuensi 0,8 H	45
Gambar 4.7 Grafik pergerakan massa 1 dengan variasi frekuensi	46

Gambar 4.8 Grafik pergerakan massa 1 dengan variasi tinggi gelombang.....	46
Gambar 4.9 Grafik voltase bangkitan pada frekuensi 0,8 Hz....	48
Gambar 4.10 Grafik voltase bangkitan dengan variasi frekuensi	49
Gambar 4.11 Grafik voltase bangkitan dengan variasi tinggi gelombang.....	49
Gambar 4.12 Grafik arus bangkitan pada frekuensi 0,8 Hz.....	50
Gambar 4.13 Grafik arus bangkitan dengan variasi frekuensi...	51
Gambar 4.14 Grafik arus bangkitan dengan variasi tinggi gelombang.....	51
Gambar 4.15 Grafik daya pada frekuensi 0,8 Hz.....	52
Gambar 4.16 Grafik daya dengan variasi frekuensi.....	53
Gambar 4.17 Grafik daya dengan variasi tinggi gelombang.....	53
Gambar 4.18 Grafik perpindahan PZT terhadap tinggi gelombang	55
Gambar 4.19 Grafik perpindahan PZT terhadap frekuensi gelombang laut.....	56
Gambar 4.20 Grafik 3D voltase bangkitan dengan variasi frekuensi dan tinggi gelombang.....	58
Gambar 4.21 Grafik voltase bangkitan dengan variasi tinggi gelombang dan jumlah PZT.....	58
Gambar 4.22 Grafik voltase bangkitan dengan variasi frekuensi gelombang dan jumlah PZT.....	59

Gambar 4.23 Grafik 3D arus bangkitan dengan variasi frekuensi dan tinggi gelombang..... 60

Gambar 4.24 Grafik arus bangkitan dengan variasi tinggi gelombang dan jumlah elemen PZT..... 61

Gambar 4.25 Grafik arus bangkitan dengan variasi frekuensi gelombang dan jumlah elemen PZT..... 61

Gambar 4.26 Grafik Daya dengan variasi frekuensi, tinggi gelombang dan jumlah PZT..... 63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Voltase terhadap perpindahan piezoelectric..... 22

Tabel 4.1 Data Fwave dan perpindahan pelampung berdasarkan
pergerakan gelombang..... 44

Tabel 4.2 Data perpindahan elemen PZT..... 47

Tabel 4.3 Data Energi Bangkitan dengan variasi frekuensi, tinggi
gelombang dan jumlah PZT..... 54

Tabel 4.4 Tabel skala mekanisme PLTGL..... 64



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi telah menjadi masalah dunia untuk beberapa tahun ke depan sedangkan sumber energi yang digunakan selama ini seperti: minyak bumi, gas alam, dan batu bara, merupakan sumber energi yang tidak terbarukan dan dari waktu ke waktu semakin menipis. Masalah inilah yang kemudian mendorong banyak teknisi dan ilmuwan untuk melakukan pemanfaatan energi pada sumber energi yang tidak terbatas seperti gelombang laut.

Luas wilayah laut Indonesia yang tiga kali lebih besar dari luas daratan membuat Indonesia memiliki sumber energi yang besar untuk dipanen atau biasa disebut dengan metode *energy harvesting*. *Energy Harvesting* atau memanen energi adalah proses dimana energi berasal dari sumber eksternal (tenaga surya, energi panas, energi angin, energi potensial, dan energi kinetic), ditangkap dan dikonversikan menjadi energi listrik. Salah satu media *converter energy harvesting* yang sedang dikembangkan saat ini adalah *smart material* yang memanfaatkan sekecil apapun getaran atau defleksi yang diberikan. Salah satu contoh *Smart material* adalah material *piezoelectric*. Penelitian material *Piezoelectric* sendiri masih sedang dalam tahap pengembangan dan masih perlu untuk dikaji lebih dalam karena elemen ini memiliki banyak sifat yang akan mempengaruhi energi bangkitannya. Sehingga pada tugas akhir ini akan digunakan elemen *Piezoelectric* sebagai media *energy harvesting*.

Pada penelitian ini dirancang sebuah model mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) tipe pelampung-*piezoelectric* berskala laboratorium sebelum diaplikasikan ke laut lepas di wilayah Indonesia. Gelombang air laut yang bergerak naik turun akan digunakan untuk menggerakkan sebuah massa yang tersambung dengan material *piezoelectric*. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya defleksi pada material

piezoelectric, sehingga mengakibatkan timbulnya beda potensial pada sisi material *piezoelectric* dan menghasilkan energi listrik.

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut yang dititikberatkan pada pemodelan pada mekanisme dan analisa energi listrik yang dihasilkan oleh model mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) tipe pelampung-*piezoelectric* sebagai *wave energy converter*. Energi gelombang laut dimodelkan sebagai inputan yang akan dirubah oleh *cantilever piezoelectric* sehingga menghasilkan listrik. Jumlah *piezoelectric* yang digunakan akan menentukan energi listrik yang dihasilkan.

Adapun permasalahan pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana memodelkan mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) tipe pelampung-*piezoelectric*?
2. Bagaimana pengaruh jumlah elemen *piezoelectric* terhadap energi listrik yang dihasilkan dalam skala laboratorium?
3. Bagaimana pengaruh frekuensi dan amplitudo gelombang laut terhadap energi listrik yang dihasilkan oleh mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) tipe pelampung-*piezoelectric* ?

1.3 Batasan Masalah

Untuk analisa di atas dibutuhkan batasan masalah yang akan diambil sebagai berikut:

1. Mekanisme yang dimodelkan hanya digunakan untuk skala laboratorium
2. Gelombang air laut yang dimodelkan dianalisa hanya ke arah vertikal
3. Gaya gesek mekanisme diabaikan

4. Eksitasi dan frekuensi gelombang dianggap seragam
5. Perambatan gelombang dianggap sempurna

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merancang, memodelkan, dan mensimulasikan mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) tipe pelampung-*piezoelectric*.
2. Mengetahui pengaruh jumlah elemen *piezoelectric* terhadap besar energy optimum yang dapat dihasilkan.
3. Mengetahui pengaruh frekuensi dan amplitudo gelombang laut terhadap energi listrik yang dihasilkan oleh mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) tipe pelampung-*piezoelectric*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

Menyediakan sumber energi alternatif bagi masyarakat.

1. Menyediakan sumber energi alternative untuk masyarakat.
2. Mengetahui mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) tipe pelampung-*piezoelectric* yang dapat menghasilkan energi listrik.
3. Mengetahui besarnya energi listrik yang dapat dihasilkan dari mekanisme PLTGL tipe pelampung-*piezoelectric* dengan ekstiasi gelombang laut.
4. Sebagai acuan untuk penelitian lebih lanjut dalam skala yang sebenarnya.



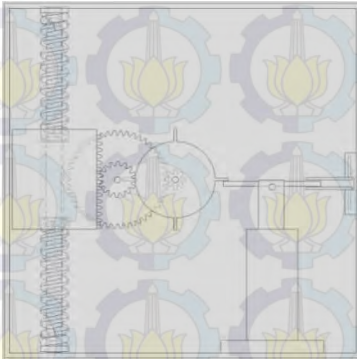
(Halaman ini sengaja di kosongkan)

BAB II

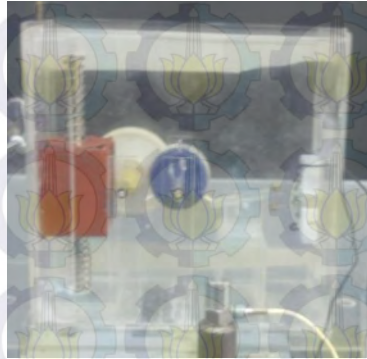
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Terdahulu

Pada tahun 2015, Joenta Indraswara [1] melakukan studi karakteriatik voltase bangkitan yang dihasilkan mekanisme *vibration energy harvesting* metode *cantilever piezoelectric*-pengungkit dengan memvariasikan jumlah blade pemukul dan frekuensi sumber getar. *Piezoelectric* diberikan gaya yang berasal dari pergerakan pengungkit dan roda gigi pada mekanisme VEH yang dibuat seperti gambar 2.1. Hasil dari pengujian ini didapatkan bahwa semakin besar frekuensi sumber getar maka semakin besar pula voltase bangkitan yang dihasilkan. Tetapi blade dengan jumlah sebanyak 3 buah yang menghasilkan voltase optimum yang dapat dilihat pada gambar 2.2

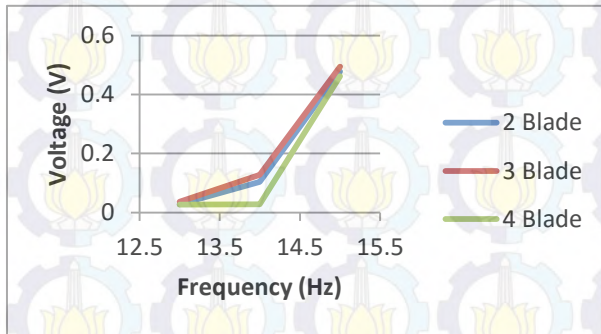


(a)



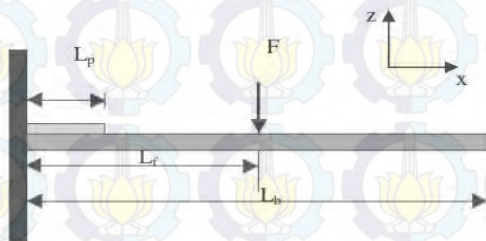
(b)

Gambar 2.1 Skema mekanisme VEH yang dirancang (a) tampak depan, (b) prototype

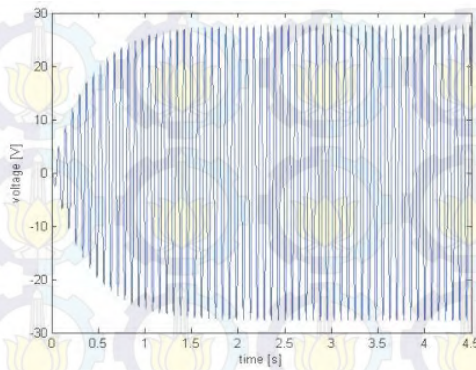


Gambar 2.2 Grafik perbandingan voltase bangkitan terhadap frekuensi getar

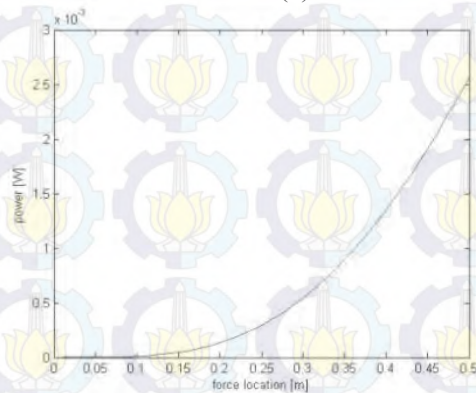
Pada tahun 2010, Andreza T. Mineto [2] meneliti bagaimana pemodelan dan karakteristik voltase dari *cantilever piezoelectric* untuk *harvesting energy* dengan meletakkan elemen *piezoelectric* diatas sebuah *cantilever beam* dengan gaya yang dikenakan pada *cantilever beam* sebesar 1 N. Mekanisme pemodelan dapat dilihat pada gambar 2.3. Hasil dari penelitian ini yaitu semakin jauh pembebanan yang dilakukan pada cantilever beam, maka semakin besar pula daya yang dihasilkan dari mekanisme ini. Hasilnya dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.3 *Cantilever beam* dengan sensor *Piezoelectric*.



(a)

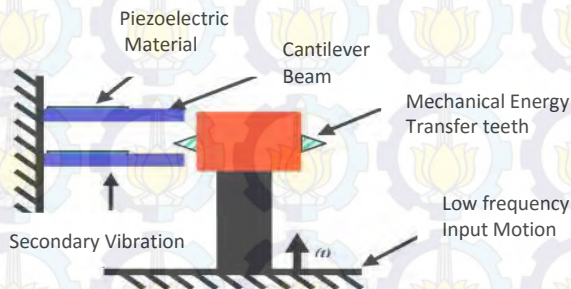


(b)

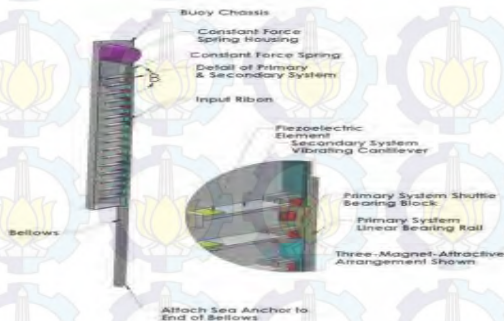
Gambar 2.4 (a) Grafik voltase bangkitan terhadap waktu, (b) grafik letak pembebanan pada cantilever beam terhadap energy bangkitan.

Pada tahun 2009, R. Murray dan J. Rastegar [4] meneliti bagaimana performa dari cantilever piezoelectric sebagai salah satu *energy harvester* dengan eksitasi gelombang laut sebagai sumber gaya dengan mekanisme *two-stage energy*

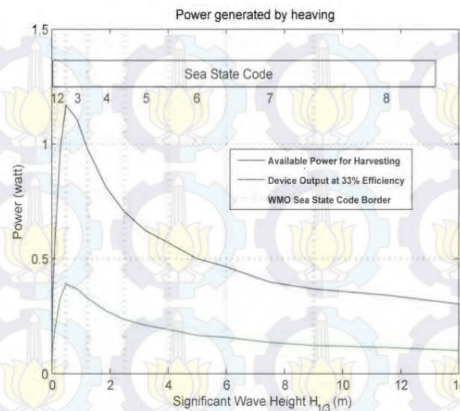
harvesting menggunakan pelampung yang kontak langsung dengan gelombang laut. Dalam *paper* ini dijelaskan bahwa penelitian ini merupakan perancangan dan pemodelan mekanisme, seperti terlihat pada gambar 2.5 dan gambar 2.6, bagaimana mekanisme kerja *two-stage energy harvesting* dan pemodelan benda yang akan dibuat. Hasil yang didapatkan adalah semakin besar gelombang laut yang dikenakan pada mekanisme ini maka semakin kecil pula daya bangkitan dari mekanisme ini karena perbedaan frekuensi natural dari cantilever beam dan *piezoelectric* yang bisa dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.5 Mekanisme *two-stage energy harvesting*

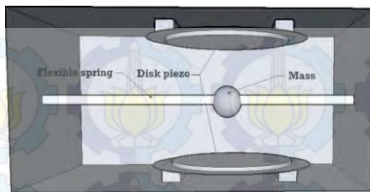


Gambar 2.6 Pemodelan *heaving-based energy harvester*

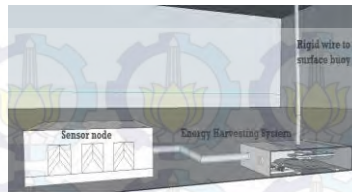


Gambar 2.7 Grafik tinggi gelombang laut terhadap energi bangkitan

Pada tahun 2008, Carlos Vinolo [6] melakukan pemodelan untuk memanen energi gelombang laut dengan menggunakan metode *piezoelectric* jenis *disk*. Sebuah massa diletakan pada sebuah *flexible spring* digunakan untuk memberikan gaya pada *piezoelectric* jenis *disk*. *Flexible spring* ini terhubung langsung dengan kawat yang kaku yang kemudian dihubungkan dengan pelampung yang bergerak di permukaan air laut. Hasil dari pemodelan mekanisme ini didapatkan output sebesar 16V setiap pukulan massa terhadap *piezoelectric* pada frekuensi 1.4 Hz. Mekanisme pemodelan dapat dilihat pada gambar 2.8. Dan hasil dari pemodelan dapat dilihat pada gambar 2.9.

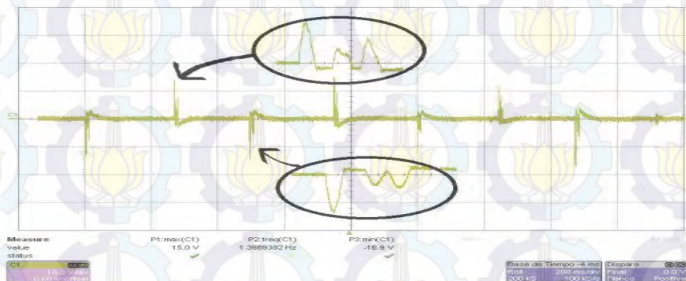


(a)



(b)

Gambar 2.8 (a) Skema mekanisme, (b) Skema dari aplikasi penelitian

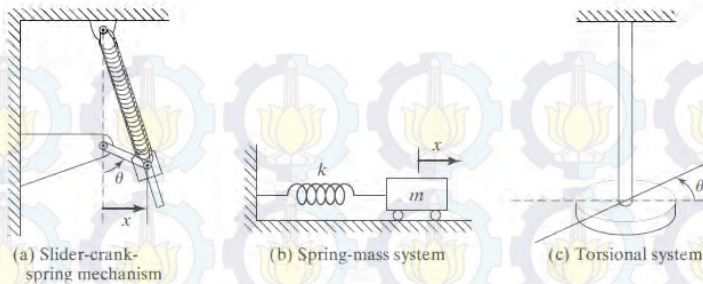


Gambar 2.9 Hasil dari pemodelan mekanisme penelitian

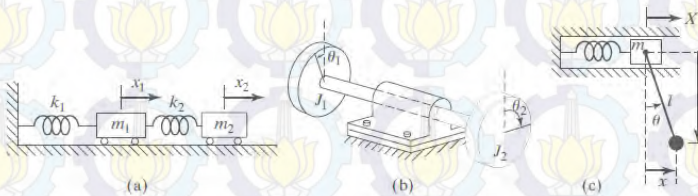
2.2 Dasar Teori

2.2.1 Derajat Kebebasan

Derajat kebebasan (*Degree of Freedom*) merupakan jumlah koordinat bebas yang diperlukan untuk menentukan posisi dari sebuah sistem pada setiap saat terhadap suatu referensi yang diam [5]. Pada umumnya derajat kebebasan dibagi menjadi dua yaitu, satu derajat kebebasan (*single degree of freedom*) dan dua derajat kebebasan. Untuk kedua sistem ini dapat diperlihatkan pada gambar 2.10 dan gambar 2.11.

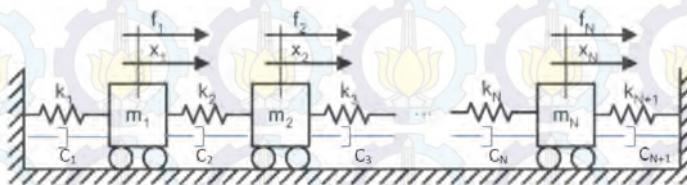


Gambar 2.10 Sistem dengan satu derajat kebebasan (1 d.o.f) [5]



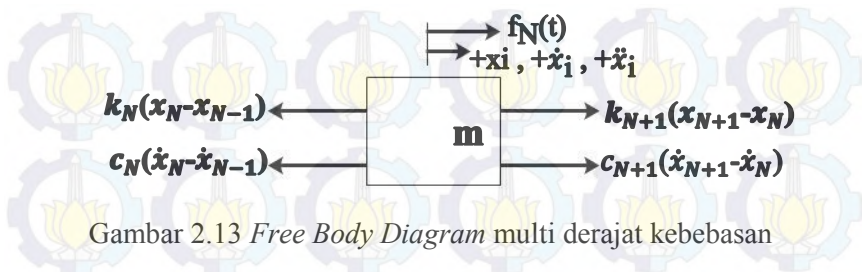
Gambar 2.11 Sistem dengan satu derajat kebebasan (2 d.o.f) [5]

Sedangkan sistem getaran dengan multi derajat kebebasan (MDOF) adalah sistem yang digunakan untuk menentukan kedudukan massa dalam ruang yang membutuhkan banyak (n) arah koordinat bebas [5]. Sistem getaran tersebut dapat digambarkan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.12 berikut ini.



Gambar 2.12 Sistem getaran multi derajat kebebasan

Analisa multi derajat kebebasan dapat dilihat pada gambar 2.13



Gambar 2.13 *Free Body Diagram* multi derajat kebebasan

Persamaan gerak dari sistem diatas untuk massa m_N dapat disederhanakan menjadi:

$$m_N \ddot{x}_N - c_N \dot{x}_{N-1} + (c_N + c_{N+1}) \dot{x}_N - c_{N+1} \dot{x}_{N+1} - k_N x_{N-1} + (k_N + k_{N+1}) x_N - k_{N+1} x_{N+1} = F_N(t) \quad (2.1)$$

Persamaan (2.1) dapat digambarkan dengan metode matriks sehingga didapatkan

$$[M]\ddot{x} + [C]\dot{x} + [K]x = \{F\} \quad (2.2)$$

dengan M mewakili matriks massa, K matriks kekakuan dan C matriks redaman yang mempunyai jumlah baris dan kolom yang sama yaitu n.

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & m_N \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -c_3 & c_3 + c_4 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -c_N & (c_N + c_{N+1}) \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -k_N & (k_N + k_{N+1}) \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

2.2.2 Teori Gelombang Laut

Gelombang laut adalah pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal [7]. Gelombang laut yang dihasilkan oleh angin di atas lautan mentransfer energinya ke perairan, menyebabkan riak-riak, alun/bukit, dan kemudian berubah menjadi apa yang kita sebut dengan gelombang laut. Gelombang/ombak yang terjadi di lautan dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis tergantung gaya pembangkitnya. Gelombang laut dapat diakibatkan oleh angin (gelombang angin), gaya tarik menarik bumi-bulan-matahari (gelombang pasang surut), gempa (vulkanik atau tektonik) di dasar laut (gelombang tsunami), maupun gelombang yang disebabkan oleh gerakan kapal.

Sebuah gelombang terdiri dari beberapa bagian antara lain:

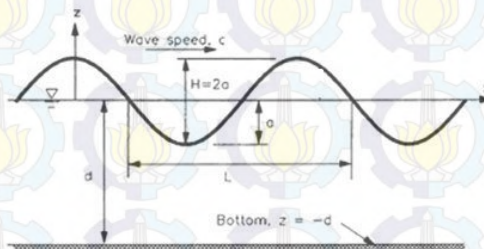
- Puncak gelombang (*crest*) adalah titik tertinggi dari sebuah gelombang.
- Lembah gelombang (*through*) adalah titik terendah gelombang, diantara dua puncak gelombang.
- Panjang gelombang (*wave length*) adalah jarak mendatar antara dua puncak gelombang atau antara dua lembah gelombang.
- Tinggi gelombang (*wave height*) adalah jarak antara puncak gelombang dan lembah gelombang.
- Periode gelombang (*wave period*) adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai dua puncak gelombang.

Bhat (1978), Garisson (1993) dan Gross (1993) mengemukakan bahwa ada 4 bentuk besaran yang berkaitan dengan gelombang, yakni:

- Amplitudo Gelombang (A) adalah jarak antara puncak gelombang dengan permukaan rata-rata air.
- Frekuensi gelombang (f) adalah sejumlah besar gelombang yang melintasi suatu titik dalam suatu waktu tertentu (biasanya didefinisikan dalam satuan detik).
- Kecepatan Gelombang (C) adalah jarak yang ditempuh gelombang dalam satu satuan waktu tertentu.
- Kemiringan gelombang (H/L) adalah perbandingan antara tinggi gelombang dengan panjang gelombang.

2.2.2.1 Pergerakan Gelombang

Pada tahun 1845, Airy mengemukakan untuk pertama kalinya teori mengenai gelombang laut. Gambar 2.14 merupakan pemodelan gelombang laut linier.



Gambar 2.14 Karakteristik ombak

Gelombang bergerak pada sumbu x . Notasi yang ada didalam pemodelan yang dikembangkan Airy seperti gambar 2.14 adalah:

d : jarak antara permukaan air laut rata dengan dasar laut

(kedalaman laut)

a : amplitudo gelombang

H : tinggi gelombang = 2a

L : panjang gelombang, jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan

2.2.2.2 Energi Gelombang

Agar dapat mengetahui daya yang terdapat pada gelombang, maka pertama-tama harus diketahui energi gelombang yang tersedia. Energy gelombang total adalah jumlah dari energy kinetik dan energy potensial [7]. Total energi kinetic dan potensial per satuan luas dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E = \frac{1}{2} \rho g A^2 \quad (2.6)$$

Dengan : g = percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

ρ = densitas air (1000 kg/m³)

A = amplitudo gelombang (m)

Untuk mendapatkan rata-rata energi atau daya dari periode ombak per satuan panjang, energy E dikalikan dengan kecepatan rambat gelombang, V_g .

$$V_g = \frac{L}{2T} \quad (2.7)$$

Dengan T adalah periode gelombang (s) dan L adalah panjang gelombang (m).

$$P = \frac{1}{2} \rho g A^2 \frac{L}{2T} \quad (2.8)$$

Jika periode dan panjang gelombang dihubungkan, maka

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (2.9)$$

Sehingga didapatkan daya gelombang per satuan panjang :

$$P = \frac{\rho g^2 A^2 T}{8\pi} \quad (2.10)$$

Dengan menggunakan amplitude gelombang, daya ombak juga dapat dituliskan sebagai fungsi tinggi gelombang sehingga persamaanya menjadi

$$P = \frac{\rho g^2 H^2 T}{32 \pi} \quad (2.11)$$

Dari persamaan diatas, dapat diketahui gaya ombak yang dikonversikan oleh mekanisme pelampung dan sistem dengan rumusan sebagai berikut

$$F_{wave} = \frac{P_{wave}}{c} \quad (2.12)$$

Dimana c merupakan setengah kecepatan rambat suatu gelombang dengan persamaan

$$c = \frac{\lambda}{T} \quad (2.13)$$

Dimana: λ : panjang gelombang (m)

T : periode gelombang (s)

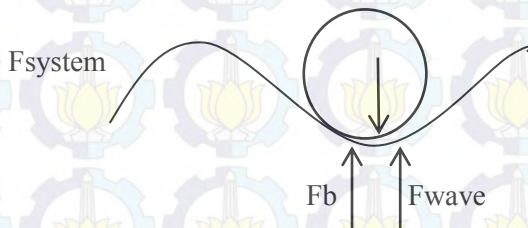
Sehingga

$$F_W = \frac{\rho g^2 H^2 T}{32 \pi c} \quad (2.14)$$

Kemudian persamaan tersebut disubstitusikan sehingga didapatkan

$$F_W = \frac{\rho g^2 H^2 T^2}{32 \pi \lambda} \quad (2.15)$$

Gaya yang dihasilkan merupakan resultan gaya yang dihasilkan untuk dapat menggerakkan pelampung. Kemudian gaya yang dihasilkan atau *generated force* ($F_{generated}$) merupakan resultan gaya yang dihasilkan untuk menggerakkan *cantilever peizoelectric*. Pada gambar 2.15 bisa dilihat bahwa $F_{generated}$ terdiri atas F_{system} , F_{wave} , dan F_b .



Gambar 2.15 *Free body diagram* pada pelampung

$$\Sigma = (F_{wave} + F_{bouyancy}) - F_{system} \quad (2.16)$$

$$\Sigma F = \left[\left(\frac{P^{wave} T}{\lambda} \right) + (\rho_c . g . V_{tercelup}) \right] - (m . g) \quad (2.17)$$

Dimana

F_{wave} = Gaya yang dihasilkan gelombang

$F_{bouyancy}$ = Gaya apung pelampung

$F_{gravitasi}$ = Gaya berat

Untuk menghitung volume benda yang sebagian tercelup dalam cairan dapat digunakan persamaan sebagai berikut

$$V_{tercelup} = \frac{v_t}{\rho_c} \rho_b \quad (2.18)$$

Dimana:

ρ_b : massa jenis benda

ρ_c : massa jenis cairan

V_t : Volume total benda

$V_{tercelup}$: volume benda yang terdendam

Massa jenis dari benda dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$\rho_b = \frac{m}{v_t} \quad (2.19)$$

2.2.3 PIEZOELECTRIC

2.2.3.1 Elemen *Piezoelectric*

Piezoelectric berasal dari bahasa Yunani yaitu, „*pressure*“ *electricity*, dimana sifat tersebut ditemukan oleh Curie bersaudara sekitar 100 tahun yang lalu. Material yang mempunyai sifat *piezoelectric* adalah material yang akan menimbulkan „*electrical charge*“ jika material tersebut mengalami deformasi secara mekanis, baik tekan atau tarik akibat tekanan, tarikan atau tekukan. Sifat material *piezoelectric* inilah yang banyak digunakan pada alat atau

komponen pembangkit listrik (skala mikro) yang kompak, ringan dan efisien.

Material *piezoelectric* merupakan material keramik yang sangat sensitif terhadap tegangan mekanik atau medan listrik. Jika tegangan mekanik diaplikasikan ke suatu material *piezoelectric* maka akan menghasilkan suatu medan listrik pada material tersebut. Fenomena ini disebut sebagai efek *piezoelectric*. Efek *piezoelectric* mendeskripsikan hubungan antara tegangan mekanik dengan tegangan listrik pada benda padat. Efek *piezoelectric* tersebut bersifat *reversible*, yaitu dapat menghasilkan *direct piezoelectric effect* (menghasilkan energi listrik jika diaplikasikan tegangan mekanik) atau dapat menghasilkan *reverse piezoelectric effect* (menghasilkan tegangan dan/atau regangan mekanik jika diaplikasikan beda potensial listrik).

PZT adalah singkatan dari *lead zirconate titanate*, yaitu material keramik yang mempunyai sifat-sifat *piezoelectric*. Material ini sangat fleksibel, ringan, berupa lembaran yang tipis (ketebalannya bervariasi mulai 0.01 mm s/d 0.2 mm). gambar 2.15 merupakan foto lembaran PZT dengan tebal 0.11 mm

Tiap-tiap bentuk *piezoelectric* yang berbeda memiliki energi bangkitan yang berbeda pula. Untuk besarnya energi bangkitan yang dihasilkan dipengaruhi oleh sifat mekanik dari *piezo* material yang digunakan. Selain itu energi bangkitan yang dihasilkan oleh *piezo* material dipengaruhi oleh energi atau usaha mekanik yang diterima oleh material *piezo* tersebut. Energi mekanik yang diterima oleh *piezoelectric* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$W_{mech} = F \cdot X_{piezo} \quad (2.20)$$

Dimana:

F = gaya total yang bekerja pada *piezoelectric* (Newton)

X_{piezo} = *displacement* pada material *piezoelectric* (m)

Gambar 2.16 Elemen *Piezoelectric*

2.2.3.2 Voltase Bangkitan Material *Piezoelectric*

Pada dasarnya voltase bangkitan yang dihasilkan *piezoelectric* material disebabkan oleh adanya muatan yang berbeda-beda antara partikel dalam *piezoelectric* tersebut. Dan ketika *piezoelectric* tersebut menerima gaya eksternal maupun mengalami defleksi, hal ini menyebabkan jarak antar partikel tersebut berubah baik itu semakin jauh atau semakin dekat. Karena pergerakan dan perubahan jarak inilah yang menyebabkan munculnya beda tegangan yang dapat dimanfaatkan di berbagai aplikasi.

Akibat adanya perbedaan jarak, maka akan timbul beda potensial tegangan yang disebut *Pull-In Voltage*. Dimana besarnya *Pull-In Voltage* bergantung pada besarnya energi mekanik yang diterima material *piezo*, jenis material *piezo*, kapasitansi material *piezo*. Pengaruh tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V = k_{31} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot W_{mech}}{C}} \quad (2.20)$$

Dimana :

V	= Voltase (V)
W_{mech}	= Energi Mekanik (Joule)
C	= Kapasitansi Material (F)
K_{31}	= <i>Electromecanical Coupling Factor</i>

Sedangkan Kapasitansi dari *piezoelectric* sendiri dirumuskan sebagai berikut :

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{h_{pzt}} \quad (2.21)$$

Dimana : C = kapasitansi (F)
 ϵ_0 = *permittivity* material
 ϵ_r = *Relative Permittivity* Material
A = Luasan Material Piezo (m²)
H_{piezo} = Tebal Lapisan Piezo (m)

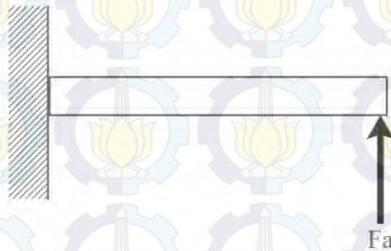
2.2.3.3 Electromechanical Coupling Factor

Electromechanical coupling factor, k, merupakan indikator efektifitas material *piezoelectric* dalam mengubah energi mekanik ke energi listrik. k disertai dua buah *subscript*, dimana dalam hal *direct effect subscript* pertama menunjukkan arah energi listrik yang dihasilkan dan *subscript* kedua menunjukkan arah dari energi mekanik yang diberikan.

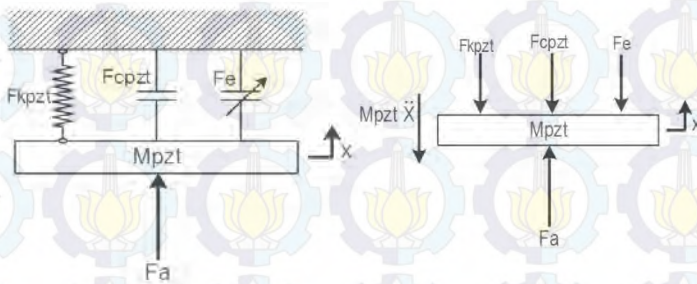
Nilai k tergantung pada spesifikasi yang diberikan oleh supplier keramik, yang merupakan nilai maksimum secara teoritis, pada frekuensi rendah, elemen *piezoelectric* keramik tertentu dapat mengubah 30% - 75% dari energi yang diberikan padanya ke bentuk lain, tergantung pada komposisi material *piezoelectric* dan arah pembebanan yang diberikan. Nilai k tinggi, yang mencerminkan efisiensi konversi energi, pada umumnya tidak memperhitungkan *dielectric losses* atau *mechanical losses*. Ketelitian pengukuran efisiensi ditentukan berdasar pada rasio konversi energi, yaitu energi yang dapat dihasilkan oleh elemen *piezoelectric* terhadap total energi yang diberikan pada elemen. Berdasar pada pengukuran tersebut, elemen *piezoelectric* dengan desain sistem yang baik dapat menghasilkan efisiensi mencapai 90%.

2.2.3.4 Analisa Material *Piezoelectric*

Jika suatu elemen *piezoelectric* diberikan gaya luar dan mengalami defleksi, seperti pada gambar 2.17, maka terdapat gaya-gaya yang terjadi *cantilever piezoelectric* seperti yang digambarkan pada *free body diagram* pada gambar 2.18 dan persamaan gerak dari elemen *cantilever piezoelectric* didapatkan seperti pada persamaan (2.22) [3].



Gambar 2.17 Sifat mekanik pada elemen *piezoelectric*



Gambar 2.18 *Free Body Diagram* dari *Cantilever Piezoelectric*

Keseimbangan gaya:

$$Fa = Mpzt\ddot{x} + Fc_{pzt} + Fk_{pzt} + Fe$$

$$Fa(t) = M_{pzt}\ddot{x}(t) + C_{pzt}\dot{x}(t) + k_{pzt}x(t) + \theta Vp(t) \quad (2.22)$$

Serta persamaan elektrik dari elemen *piezoelectric* dapat dilihat pada persamaan (2.23)

$$\Theta \dot{x}(t) - C_p \dot{V}_p(t) = I(t) \quad (2.23)$$

dimana:

M_{pzt} = massa *piezoelectric*

C_{pzt} = damping dari *cantilever beam*

k_{pzt} = Konstanta pegas *piezoelectric*

Θ = *Coupling Factor*

$V_p(t)$ = Voltase bangkitan pada *piezoelectric*

C_p = Kapasitansi *Piezoelectric*

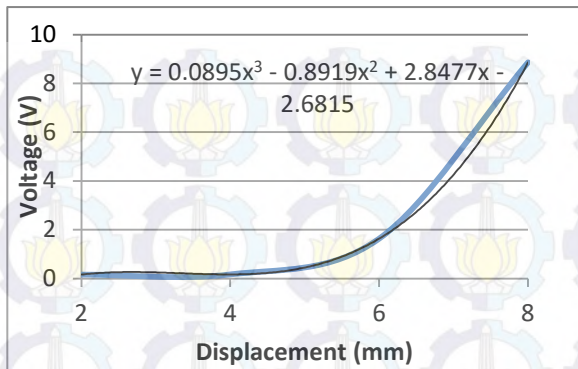
I = Arus listrik pada *piezoelectric*

2.2.3.5 Analisa Defleksi Elemen *Piezoelectric*

Pada tahun 2015, Joenta Indraswara dalam tugas akhirnya yang berjudul “Studi Karakteristik Voltase Bangkitan yang Dihasilkan Mekanisme Vibration Energy Harvesting Menggunakan Metode *Piezoelectric*-Pengungkit Dengan Variasi Jumlah Blade Pemukul dan Frekuensi Sumber Getar” [1] melakukan eksperimen hubungan antara defleksi yang terjadi pada elemen *piezoelectric* terhadap energi bangkitan elemen *piezoelectric* minisense 100. Hasil penelitiannya dapat dilihat pada tabel 2.1 dan grafik 2.1

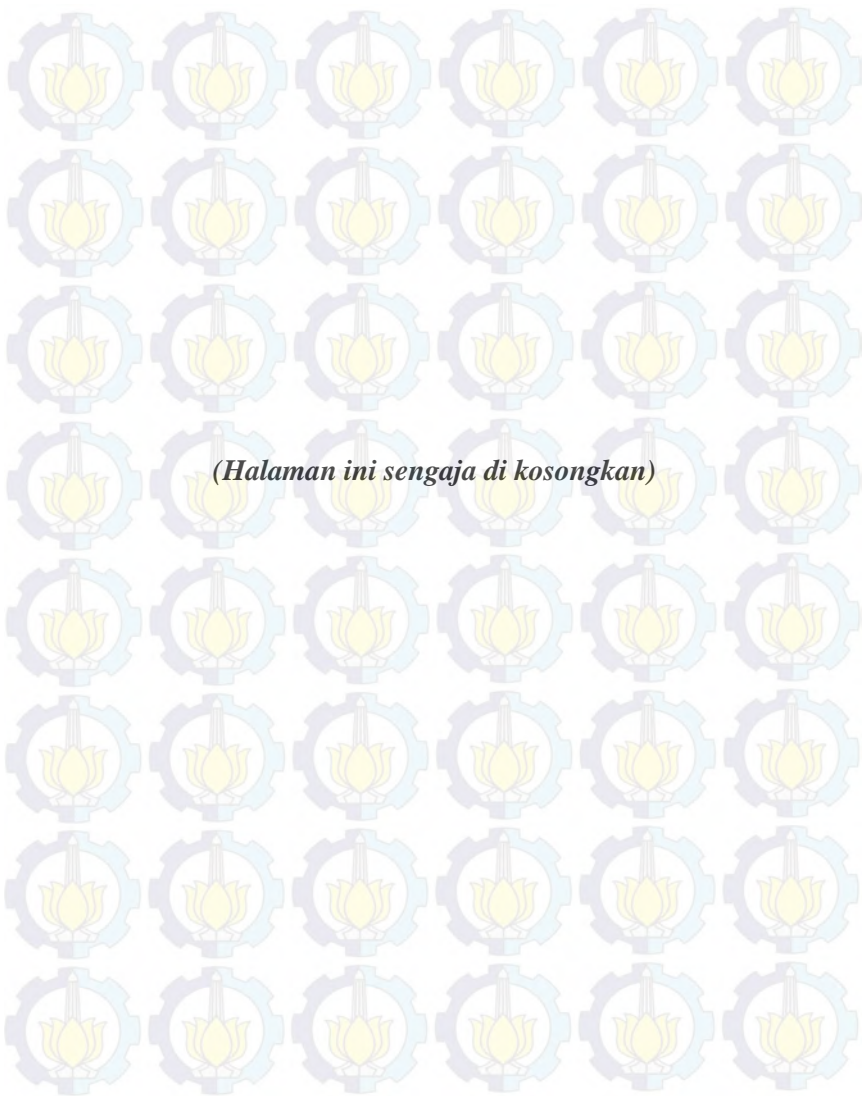
Tabel 2.1 Data Voltase terhadap perpindahan *piezoelectric*

Xp (mm)	VRMS (V)
2	0.1626
4	0.1695
6	1.637
8	8.8629



Grafik 2.1 Grafik voltase terhadap perpindahan *piezoelectric* dan *trendline*-nya

Dari tabel 2.1 dan grafik 2.1 diketahui bahwa semakin besar defleksi yang terjadi pada elemen *piezoelectric* mini Sense 100, maka semakin besar pula voltase bangkitan yang terjadi. Sehingga dapat disimpulkan semakin besar gaya yang diberikan kepada material *piezoelectric* maka semakin besar pula defleksinya sehingga semakin besar voltase bangkitanya.

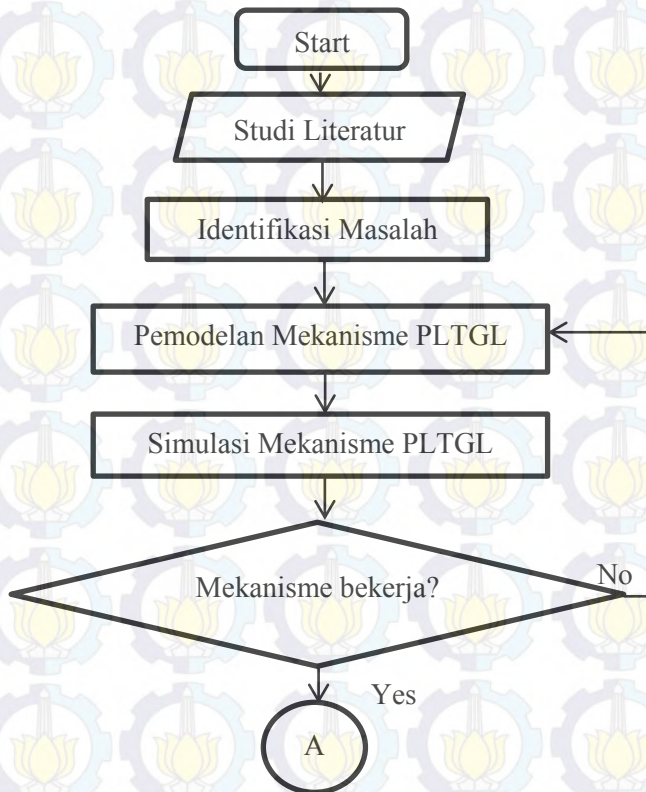


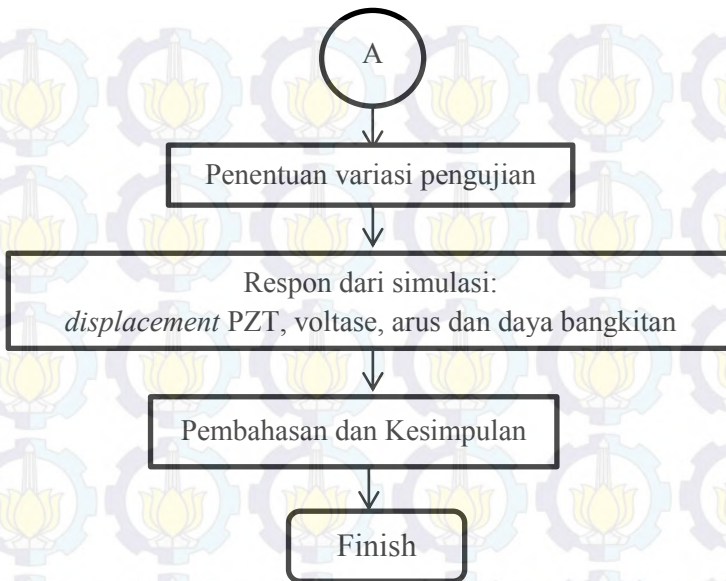
(Halaman ini sengaja di kosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini, disusunlah sejumlah tahapan yang merupakan langkah-langkah dalam mewujudkan tujuan. Tahapan tersebut dinyatakan dalam diagram alir pada gambar 3.1 sebagai berikut:





Gambar 3.1 Diagram alir tugas akhir secara global

3.2 PENJELASAN

3.2.1 STUDI LITERATUR

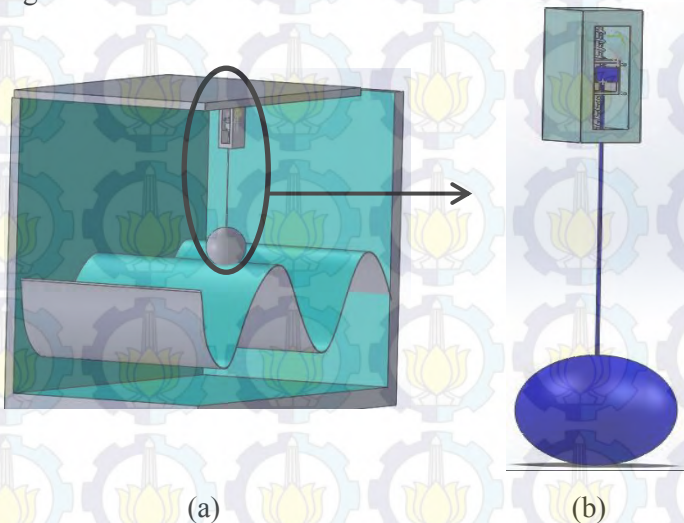
Pada bagian ini meliputi pengumpulan segala literatur dan buku-buku referensi yang ada kaitannya dengan konsep mekanika getaran, *piezoelectric* material dan pengaruhnya. Hasilnya didapatkan data gelombang laut seperti tinggi gelombang dan frekuensi gelombang laut serta spesifikasi dari elemen *piezoelectric*. Literatur yang dipelajari selama pengerjaan tugas akhir dapat berupa tugas akhir yang pernah ada, literatur, katalog, journal, dan buku teks.

3.2.2 IDENTIFIKASI PERMASALAHAN

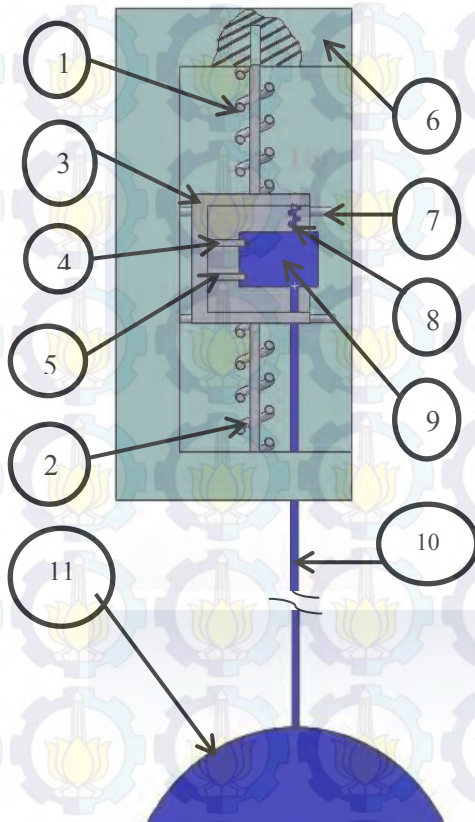
Pada tugas akhir ini digunakan *cantilever beam piezoelectric* untuk mengubah energi getaran menjadi energi listrik. Terdapat dua parameter yang menjadi identifikasi permasalahan yaitu variable *input* serta variable *output*. Parameter yang diadkan variable *input*-nya berupa amplitudo dan frekuensi gelombang laut yang diteruskan ke struktur sedangkan variable *output*-nya berupa *displacement*, kuat arus, voltase dan daya yang dihasilkan oleh *cantilever beam piezoelectric*.

3.2.3 PEMODELAN MEKANISME

Tujuan dari penelitian ini adalah bagaimana mengetahui energi listrik bangkitan yang dihasilkan oleh mekanisme PLTGL tipe pelampung-*piezoelectric*. Gambar 3.2 adalah pemodelan mekanisme yang telah dibuat dan gambar 3.3 merupakan bagian-bagian dari mekanisme.



Gambar 3.2 Pemodelan mekanisme (a). pada kolam, dan (b) tampak 3D



Gambar 3.3 Bagian-bagian dari mekanisme

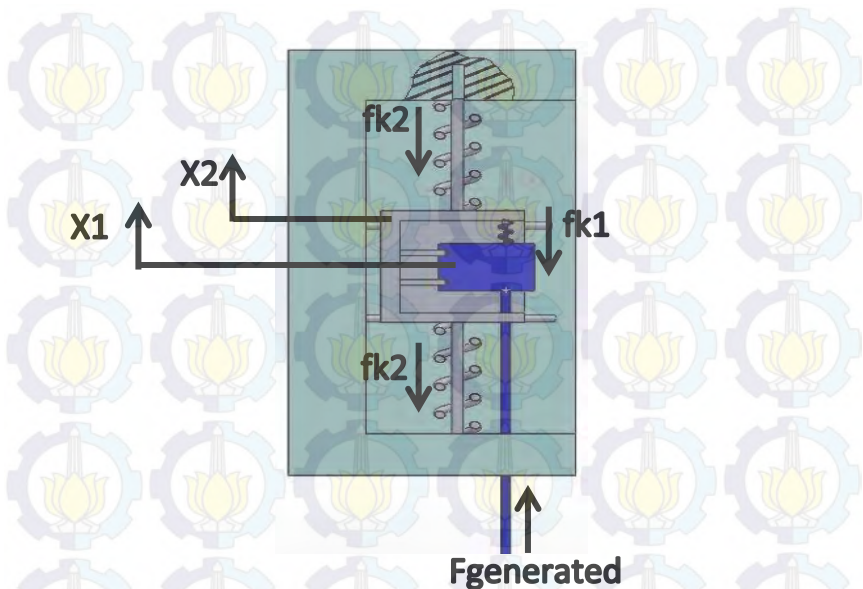
Keterangan gambar:

- | | |
|-------------------------------|----------------|
| 1. Pegas 1 | 6. Housing |
| 2. Pegas 2 | 7. Rod |
| 3. Massa 2 | 8. Pegas 3 |
| 4. Cantilever Piezoelectric 1 | 9. Massa 1 |
| 5. Cantilever Piezoelectric 2 | 10. Rigid Wire |
| | 11. Pelampung |

Cara kerja mekanisme ini adalah dengan adanya pergerakan gelombang akan menggerakkan pelampung yang telah terhubung dengan *rigid wire*. *Rigid wire* akan bergerak naik turun sesuai dengan arah pergerakan gelombang. Kemudian *rigid wire* akan menggerakkan massa 1 yang telah terhubung dengan *cantilever piezoelectric*. *Piezoelectric* akan mengalami *displacement* yang kemudian akan menghasilkan energi listrik. Namun, karena elemen *piezoelectric* memiliki batas maksimal *displacement*, maka ketika *displacement* yang terjadi melebihi batas maksimal *piezoelectric*, pegas 3 akan menekan *housing piezoelectric* sehingga gerakan akan dilanjutkan oleh *housing piezoelectric* tersebut. Hal ini dilakukan agar kerusakan berupa patahan pada *piezoelectric* dapat dihindari.

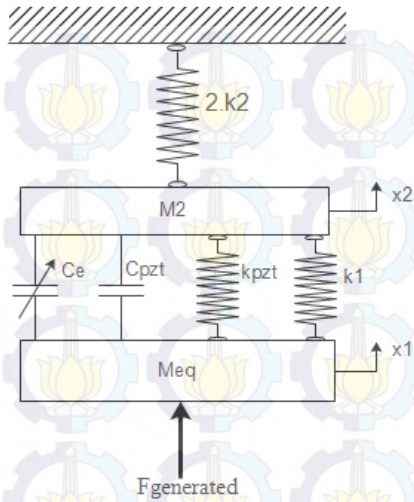
3.2.4 Simulasi Pemodelan PLTGL

Setelah mekanisme PLTGL dimodelkan maka selanjutnya dilakukan simulasi yang hasilnya akan didapatkan berupa *displacement*, voltase, kuat arus, dan daya. Eksitasi yang diberikan pada mekanisme PLTGL tipe pelampung-*piezoelectric* ini merupakan gelombang laut dengan skala laboratorium. Sehingga dari gerak mekanisme dan *free body diagram* pada gambar 3.4 dan gambar 3.5 dicari persamaan gerak yang terjadi pada permodelan mekanisme PLTGL tipe pelampung-*piezoelectric*.



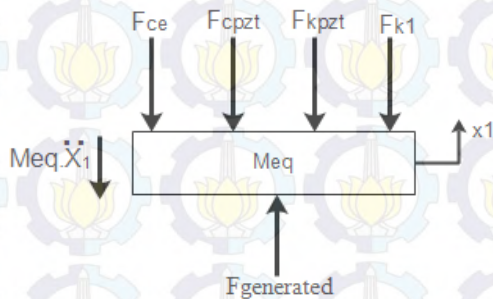
Gambar 3.4 Gerak mekanisme

Setelah gerak mekanisme ditentukan, maka dibuat *free body diagram* yang menggambarkan gaya-gaya yang terjadi pada mekanisme Pembangkit Listrik Gelombang Laut (PLTGL) tipe pelampung-*piezoelectric*. Free body diagram mekanisme dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Free body diagram* gerak mekanisme

Free body diagram (FBD) 1 merupakan *free body diagram* dari elemen *piezoelectric* dan massa 1 yang kemudian disingkat *Meqivalent* atau M_{eq} .



Gambar 3.6 *Free body diagram* 1

$$\sum Fx = 0$$

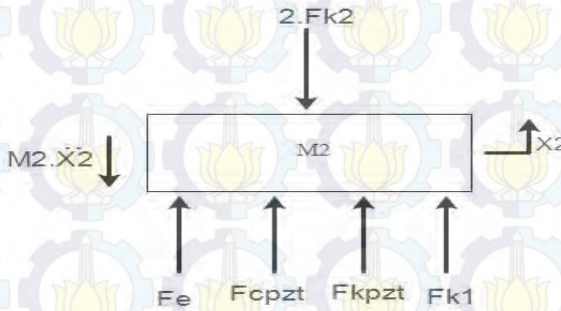
$$M_{eq}\ddot{x}_1 + F_{c\ pzt} + F_e + F_{pzt} + F_{k1} = F_{generated}$$

$$(M1 + Mpzt)\ddot{x}_1 + Cpzt(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + \theta Vp + kpzt(x_1 - x_2) + k1(x_1 - x_2) = F_{generated}$$

$$(M1 + Mpzt)\ddot{x}_1 + Cpzt \dot{x}_1 + kpzt x_1 + k1 x_1 - Cpzt \dot{x}_2 - kpzt x_2 - k1 x_2 + \theta Vp = F_{generated}$$

$$(M1 + Mpzt)\ddot{x}_1 + Cpzt \dot{x}_1 - Cpzt \dot{x}_2 + (kpzt + k1)x_1 - (kpzt + k1)x_2 + \theta Vp = F_{generated} \quad (3.1)$$

FBD 2



Gambar 3.7 Free body diagram 2

$$M2\ddot{x}_2 + 2.Fk2 = F_{cpzt} + F_{kpzt} + F_{k1} + F_{ce}$$

$$M2.\ddot{x}_2 + 2(k2.x_2) = Cpzt(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + kpzt(x_1 - x_2) + k1(x_1 - x_2) + \theta Vp$$

$$M2.\ddot{x}_2 + 2(k2.x_2) = Cpzt.\dot{x}_1 - Cpzt.\dot{x}_2 + (kpzt + k1)x_1 - (kpzt + k1)x_2 + \theta Vp$$

$$M2.\ddot{x}_2 + 2(k2.x_2) - Cpzt.\dot{x}_1 + Cpzt.\dot{x}_2 - (kpzt + k1)x_1 + (kpzt + k1)x_2 - \theta Vp = 0$$

$$M2.\ddot{x}_2 - Cpzt\dot{x}_1 + Cpzt\dot{x}_2 - (kpzt + k1)x_1 + (kpzt + k1 + 2.k2)x_2 - \theta Vp = 0 \quad (3.2)$$

Pada mekanisme ini digunakan material *piezoelectric* miniSense 100 yang memiliki batas defleksi keamanan sebesar 6 mm, sehingga ketika pergerakan m_1 melebihi 6 mm maka f_{k1} akan berfungsi sebagai penghambat gerakan x_1 sehingga pergerakan mekanisme akan dilanjutkan oleh pergerakan m_2 oleh x_2

FBD 3

Karena elemen *piezoelectric* memiliki *coupling factor* yang menghubungkan persamaan gerak dan persamaan energi bangkitan, maka perumusan untuk menghubungkannya adalah

$$\theta \dot{x}_1(t) - C_p \dot{V}_p(t) = I(t) \quad (3.3)$$

Dimana :

m	= massa
x	= perpindahan massa
$F_{\text{generated}}$	= Gaya yang berasal dari energy gelombang laut
k_1	= konstanta elastisitas pegas 1
k_2	= konstanta elastisitas pegas 2
k_3	= konstanta elastisitas <i>piezoelectric</i>
θ_p	= <i>piezoelectric coefficient</i>
V_p	= Voltase bangkitan sepanjang elemen <i>piezoelectric</i>
C_p	= <i>Capacitance piezoelectric</i>

I

= arus bangkitan

3.2.5 Penentuan Variasi Pengujian

Pengujian mekanisme dengan variasi frekuensi yaitu 0,8 Hz, 1 Hz, dan 1,2 Hz; amplitudo gelombang laut sebesar 2 cm, 6 cm, dan 10 cm; serta variasi jumlah elemen *piezoelectric* yaitu 5, 10 dan 15 buah untuk mengetahui energi bangkitan optimum yang akan dihasilkan oleh mekanisme ini.

3.2.6 Analisa dan pembahasan

Setelah didapatkan persamaan gerak dinamis mekanisme pada persamaan 3.1 dan 3.2, persamaan tersebut kemudian disimulasikan dalam MATLAB Simulink. Input eksitasi dari mekanisme ini adalah berupa gaya bangkitan yang dihasilkan oleh gelombang laut yang didapat dari persamaan 2.17. Kemudian dari persamaan gerak dinamis pada persamaan 3.1 dibuat *block diagram*-nya pada *simulink* sehingga didapatkan *displacement* x_1 yang kemudian di-*plot*-kan terhadap waktu agar terlihat grafik *displacement* elemen PZT. Lalu dengan persamaan 3.1 dan 2.20 tentang voltase bangkitan elemen PZT, input berupa *displacement* PZT dimasukan lalu nilai voltase dan grafik dapat diketahui, serta dengan persamaan 3.1 dan 3.3 dapat diketahui nilai dan grafik dari arus bangkitan yang dihasilkan oleh elemen PZT dengan metode *plot* pada MATLAB Simulink. Sehingga dari voltase dan arus bangkitannya dapat ditentukan berapa nilai daya yang dihasilkan dengan mengkalikan voltase dan arus bangkitannya. Hal ini dilakukan masing-masing dengan variasi frekuensi gelombang laut, tinggi gelombang laut dan jumlah PZT.

3.2.7 Kesimpulan

Tahap akhir dari tugas akhir ini adalah penarikan kesimpulan berdasarkan analisa dan pembahasan pada respon *displacement*, voltase, kuat arus dan daya yang dihasilkan oleh mekanisme PLTGL tipe pelampung-*piezoelectric*.

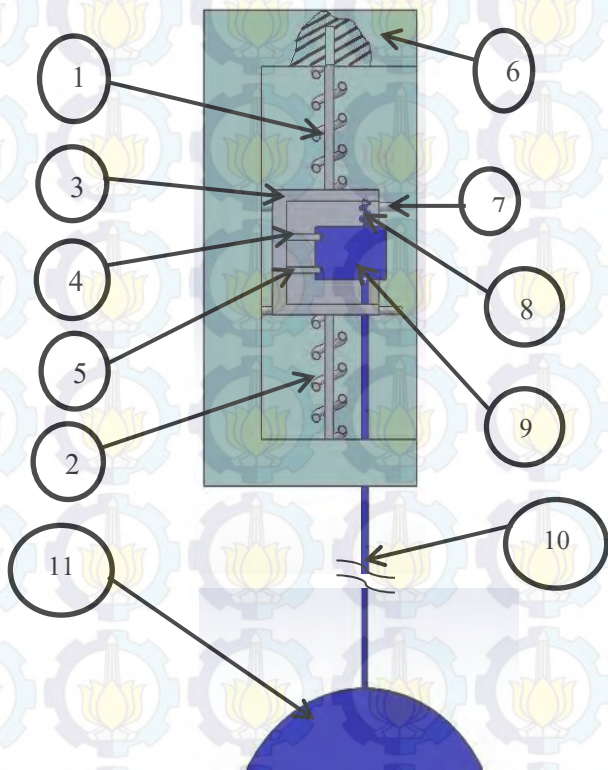
BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dianalisa dan dibahas tentang energi listrik bangkitan yang dihasilkan oleh mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) dengan metode pelampung-*piezoelectric*. Analisa dan pembahasan ini dimulai dengan analisa gaya bangkitan yang dihasilkan oleh gelombang laut, kemudian dilakukan analisa dan pembahasan terhadap variasi amplitudo dan frekuensi gelombang laut, serta variasi jumlah elemen *piezoelectric*.

4.1 Mekanisme PLTGL Tipe Pelampung-Piezoelectric

Pada subbab ini akan digambarkan tentang mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) tipe Pelampung-*Piezoelectric* yang bisa dilihat pada gambar 4.1 beserta data dan spesifikasi yang nantinya digunakan dalam proses simulasi model.



Gambar 4.1 Mekanisme PLTGL tipe Pelampung-*Piezoelectric*

Keterangan gambar:

- | | |
|-------------------------------|----------------|
| 1. Pegas 1 | 6. Housing |
| 2. Pegas 2 | 7. Rod |
| 3. Massa 2 | 8. Pegas 3 |
| 4. Cantilever Piezoelectric 1 | 9. Massa 1 |
| 5. Cantilever Piezoelectric 2 | 10. Rigid Wire |
| | 11. Pelampung |

Dari pemodelan yang dibuat, model PLTGL metode pelampung-*piezoelectric* memiliki data dan spesifikasi sebagai berikut:

- Variasi Frekuensi Gelombang (f) = 0,8 Hz; 1 Hz; 1,2 Hz
- Variasi Tinggi Gelombang (H) = 2 cm; 6 cm; 10 cm
- Massa Beban 1 (m_1) = 0,145 kg
- Massa Beban 2 (m_2) = 0,150 kg
- Massa Pelampung = 0,363 kg
- Massa System = 0,658 kg
- Diameter Pelampung (D_{pel}) = 0,13 m
- Konstanta Pegas 1 (k_1) = 500 N/m
- Konstanta Pegas 2 (k_2) = 900 N/m
- Piezoelectric (MiniSense 100)
 - Electromechanical coupling factor (k_{31}) = 12%
 - Kapasitansi *Piezoelectric* (C) = 244 pF
 - Perpindahan *Piezoelectric* (X_p) = 6 mm
 - Rangkaian *Piezoelectric* = Paralel
 - Konstanta Pegas *Piezoelectric* (kp) = 17,5 N/m
 - Dimensi *Piezoelectric* = 17,8x6x1 mm
 - Massa Elemen *Piezoelectric* (m_{pzt}) = 0,00006 kg
 - *Mechanical Losses Piezoelectric* (η) = 0,000056

4.1.1 Contoh Perhitungan

Dari data dan spesifikasi yang telah dipaparkan pada subbab 4.1, maka dapat dilakukan perhitungan. Dibawah ini

adalah hasil perhitungan yang berguna untuk menunjang proses analisa teoritis:

Diketahui:

Massa Pelampung (m_p) = 0,363 kg

Frekuensi gelombang = 0,8 Hz

Periode Gelombang (T) = 1,25 second

Tinggi Gelombang (H) = 10 cm

Panjang Gelombang (λ) = 1 m

Massa Jenis (ρ) = 1000 kg/m³

Percepatan Gravitasi (g) = 9,81 kg m/s²

a. Mencari Gaya Gelombang

$$F_{wave} = \frac{\rho g^2 H^2 T^2}{32 \pi \lambda}$$

$$= \frac{1000 \frac{kg}{m^3} \times \left(9,81 \frac{kg}{s^2}\right)^2 \times (0,10 m)^2 \times (1,25 s)^2}{32 \times \pi \times 1 m}$$

$$= \frac{1000 \frac{kg}{m^3} \times 96,2361 \left(\frac{kg}{s^2}\right)^2 \times 0,01 m^2 \times 1,5625 s^2}{32 \times 3,14 \times 1 m}$$

$$= 14,94 \text{ N}$$

b. Mencari frekuensi natural gelombang

$$\begin{aligned} \omega_f &= 2 \cdot \pi \cdot f \\ &= 2 \times 3,14 \times 0,8 \\ &= 5,024 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

c. Mencari gaya yang menggerakkan *piezoelectric*

$$\begin{aligned} \sum F &= [(F_{wave}) + (\rho c \cdot g \cdot V_{tercelup})] - (m \cdot g) \\ &= 14,94 + 3,56 - 4,905 \\ &= 13,5 \text{ N} \end{aligned}$$

d. Gaya Dorong (Fp)

Untuk mendapatkan gaya dorong yang bekerja pada elemen PZT, data yang digunakan adalah data eksperimen yang dilakukan oleh Joenta Indraswara [1]

seperti yang terlihat pada tabel 2.1 dan grafik 2.1 kemudian didapatkan persamaan dari trendline yang terbentuk:

$$V = 0,0895.Xp^3 - 0,8919.Xp^2 + 2,8477.Xp - 2,6815$$

Sehingga, dari persamaan 2.20 didapatkan gaya dorong pada *piezoelectric* :

$$\begin{aligned} V &= k_{31} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot F_p \cdot X_p}{C}} \\ F_p &= \frac{V^2 C}{2 k_{31}^2 X_p} \\ F_p &= 0,031167 \text{ N} \end{aligned}$$

e. Persamaan gerak

Persamaan gerak dinamis dari simulasi pemodelan PLTGL tipe pelampung-piezoelectric didapatkan pada persamaan (3.1) dan (3.2) dan dimasukan nilai diatas sehingga menjadi:

$$\begin{aligned} (0,148)\ddot{x}_1 + 0,000056\dot{x}_1 - 0,000056\dot{x}_2 + \\ (687,5)x_1 - (687,5)x_2 + 0,007488 = 13,5 \text{ N} \\ 0,150.\ddot{x}_2 - 0,000056\dot{x}_1 + 0,000056\dot{x}_2 - (687,5)x_1 \\ + (2487,5)x_2 - 0,007488 = 0 \end{aligned}$$

f. Voltase Bangkitan

Rumus voltase bangkitan didapat dari persamaan (2.20) dengan variasi jumlah elemen PZT sebanyak 5 buah

$$\begin{aligned} V &= k_{31} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot W_{mech}}{C}} \\ V &= 12\% \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (0,031167 \times 0,0011)}{0,000244}} \\ V &= 0,2120 \text{ v} \end{aligned}$$

g. Arus Bangkitan

Arus bangkitan dari elemen PZT dapat diketahui dari persamaan (3.3) kemudian dimasukan \dot{x}_{RMS} dan \dot{V}_{RMS} yang didapatkan dari hasil simulasi:

$$I(t) = \theta \dot{x}_1(t) - C_p \dot{V}_p(t)$$

$$I(t) = 12\% \cdot 0,052 \frac{m}{s} - 244pF \cdot 5,4325 \frac{dv}{dt}$$

$$I(t) = 0,0049 A$$

h. Daya Bangkitan

Untuk mendapatkan daya bangkitan, rumus yang digunakan adalah $P = VxI$ sehingga hasilnya adalah:

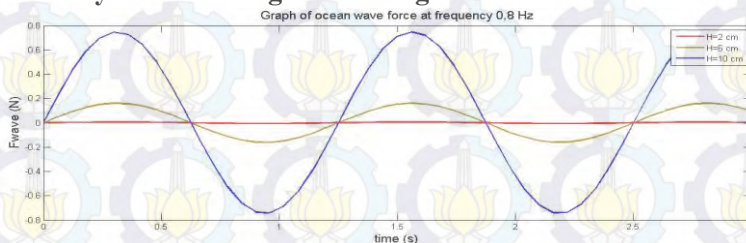
$$P = VxI$$

$$P = 0,0049 \times 0,212 = 0,00125 \text{ watt}$$

Dari persamaan diatas maka dibuat *block diagram* pada MATLAB Simulink dengan menambahkan rumusan (3.3) tentang arus bangkitan dari *piezoelectric*, dan dimasukkan parameter-parameter yang dibutuhkan. Dari simulasi ini didapatkanlah *displacement*, voltase, arus, serta daya bangkitan dalam bentuk grafik, yang kemudian dilakukan *root mean square* (RMS) pada data karena bentuknya masih dalam grafik, yang didapatkan dengan metode *plot* pada MATLAB terhadap waktu, yang selanjutnya digunakan dalam analisa dan pembahasan secara simulasi.

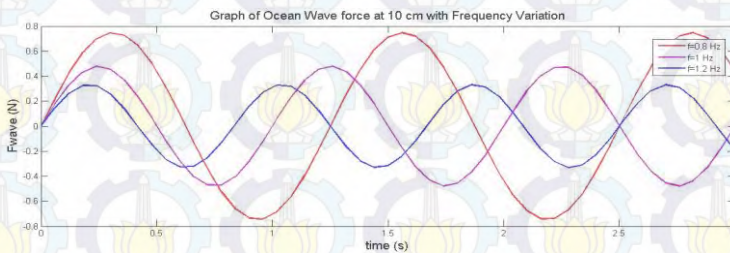
4.2. Analisa Pemodelan

4.2.1 Gaya Gelombang Laut dengan Variasi Frekuensi dan



Gambar 4.2 Grafik pergerakan gelombang laut dengan frekuensi 0,8 Hz

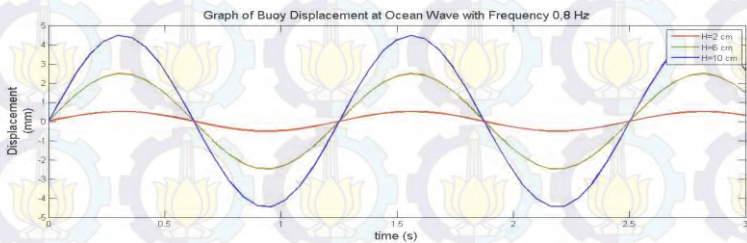
Pada Gambar 4.2 diperlihatkan grafik pergerakan gelombang laut yang akan digunakan sebagai inputan dari mekanisme PLTGL tipe Pelampung-*Piezoelectric*. Dari data yang diperoleh, gelombang laut dengan tinggi gelombang 2 cm, 6 cm, dan 10 cm memiliki $F_{wave_{RMS}}$ masing-masing adalah 0,0042 N, 0,1132 N, 0,524 N. Sehingga gelombang laut dengan amplitude 10 cm memiliki F_{wave} yang paling besar yang akan menggerakkan pelampung dan mekanisme PLTGL tipe pelampung-*piezoelectric*.



Gambar 4.3 Grafik pergerakan gelombang laut dengan variasi frekuensi

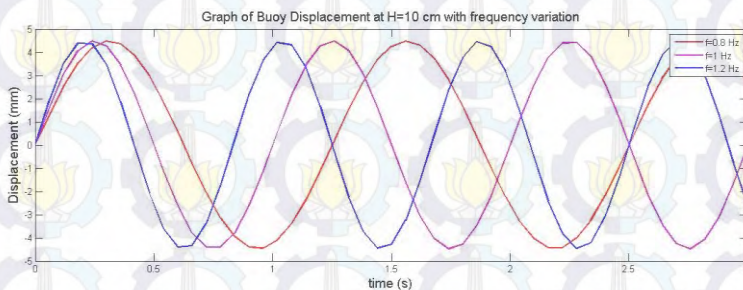
Lalu, pada Gambar 4.3 diperlihatkan grafik pergerakan gelombang laut dengan variasi frekuensi 0,8 Hz; 1 Hz; dan 1,2 Hz pada keadaan tinggi gelombang sebesar 10 cm. Dari data yang diperoleh, gelombang laut dengan tinggi gelombang 2 cm dengan variasi frekuensi 0,8 Hz; 1 Hz; dan 1,2 Hz memiliki $F_{wave_{RMS}}$ berturut-turut adalah 0,524 N, 0,3353 N, dan 0,2328 N. Sehingga gelombang laut dengan tinggi gelombang 10 cm dan frekuensi 0,8 Hz memiliki F_{wave} yang paling besar yang akan menggerakkan pelampung dan mekanisme PLTGL tipe pelampung-*piezoelectric*. Untuk data F_{wave} dari setiap frekuensi dan tinggi gelombang dapat dilihat pada tabel 4.1.

4.2.2 Perpindahan Pelampung Terhadap Gaya Gelombang Laut dengan Variasi Frekuensi dan Tinggi Gelombang



Gambar 4.4 Grafik pergerakan pelampung dengan frekuensi gelombang 0,8 Hz

Pada gambar 4.4 diperlihatkan bahwa gelombang setinggi 2 cm, 6 cm, dan 10 cm dapat menggerakkan pelampung keatas dan kebawah sebesar 0,52 mm; 2,497 mm, dan 4,48 mm yang selanjutnya akan menggerakkan mekanisme PLTGL dan juga menggerakkan *piezoelectric* sebagai elemen penghasil listrik. Sehingga gelombang dengan tinggi 10 cm dapat membuat perpindahan terbesar pada pelampung. Kemudian pada gambar 4.5 diperlihatkan grafik pergerakan pelampung pada tinggi gelombang 10 cm dengan variasi frekuensi.



Gambar 4.5 Grafik pergerakan pelampung dengan variasi frekuensi gelombang

Pada gambar 4.5, data perpindahan pelampung pada tinggi gelombang 10 cm dengan variasi frekuensi 0,8 Hz; 1 Hz; dan 1,2 Hz adalah 4,48 mm; 4,485 mm; dan 4,487 mm. Sehingga gelombang setinggi 10 cm dengan frekuensi 1,2 Hz dapat menggerakkan pelampung dengan perpindahan terbesar yang selanjutnya akan menggerakkan mekanisme PLTGL. Data pergerakan pelampung dengan berbagai variasi dapat dilihat pada tabel 4.1.

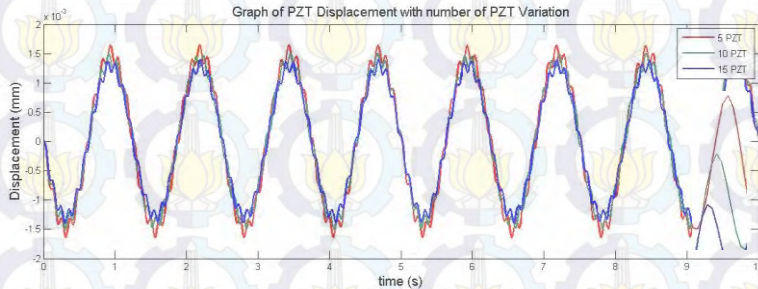
Tabel 4.1 Data Fwave dan perpindahan pelampung berdasarkan pergerakan gelombang

F (Hz)	H (cm)	Fwave RMS (N)	Displacement Buoy RMS (mm)
0,8	2	0.0042	0.52
	6	0.1132	2.497
	10	0.524	4.48
1	2	0.0027	0.521
	6	0.0724	2.503
	10	0.3353	4.485
1,2	2	0.0019	0.523
	6	0.0503	2.505
	10	0.2328	4.487

4.2.3 Displacement massa 1 pada masing-masing frekuensi dengan Variasi Jumlah PZT

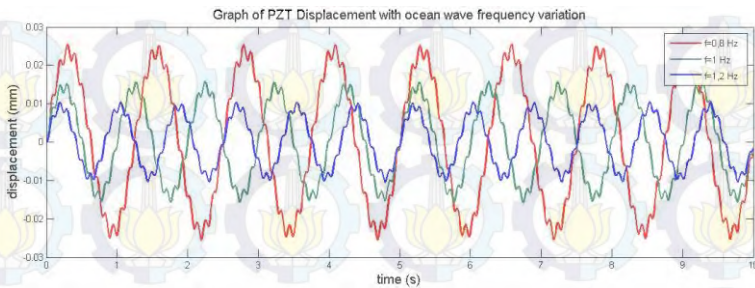
Pada subbab ini akan diberikan satu contoh analisa variasi tinggi gelombang setinggi 2 cm. Data variasi tinggi gelombang selanjutnya yaitu 6 cm dan 10 cm akan diberikan pada tabel 4.2. Gaya dari gelombang laut yang telah didapatkan, diteruskan ke pergerakan pelampung yang selanjutnya akan menggerakkan massa 1 yang kemudian menggerakkan elemen PZT sehingga

didapatkan grafik displacement pada keadaan variasi frekuensi gelombang 0,8 Hz



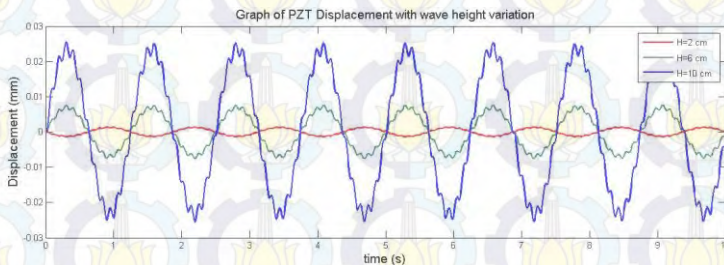
Gambar 4.6 Grafik pergerakan massa 1 dengan frekuensi 0,8 Hz

Pada gambar 4.6 ditampilkan pergerakan massa 1 dengan tinggi gelombang 2 cm yang juga merupakan pergerakan dari elemen *piezoelectric* dengan variasi jumlah elemen *piezoelectric*. Kemudian dari perpindahan PZT tersebut dapat diambil nilai RMS-nya masing-masing jumlah PZT sebanyak 5, 10, dan 15 PZT berturut-turut adalah 1,1 mm; 0,972 mm; 0,904 mm. Sehingga perpindahan terkecil yang terjadi pada tinggi gelombang 2 cm dan frekuensi 0,8 Hz pada jumlah PZT sebanyak 15 buah. Kemudian pada gambar 4.7 ditampilkan perbandingan perpindahan yang terjadi dengan variasi frekuensi dengan tinggi gelombang 2 cm dan jumlah PZT sebanyak 15 buah.



Gambar 4.7 Grafik pergerakan massa 1 dengan variasi frekuensi

Pada gambar 4.7 ditampilkan pergerakan massa 1 dengan tinggi gelombang 2 cm dan jumlah elemen PZT sebanyak 15 buah dengan variasi frekuensi gelombang laut. Kemudian dari perpindahan PZT tersebut dapat diambil nilai RMS-nya masing-masing frekuensi 0,8 Hz; 1 Hz; dan 1,2 Hz berturut-turut adalah 0,904 mm; 1,2 mm; 1,3 mm. Sehingga perpindahan terkecil yang terjadi pada tinggi gelombang 2 cm dan jumlah PZT sebanyak 15 buah adalah pada frekuensi 0,8 Hz.



Gambar 4.8 Grafik pergerakan massa 1 dengan variasi tinggi gelombang

Pada gambar 4.8 diperlihatkan grafik perpindahan massa 1 dengan variasi tinggi gelombang 2 cm; 6 cm; dan 10 cm pada keadaan frekuensi gelombang 0,8 Hz dan jumlah elemen PZT sebanyak 15 buah, dan didapatkan data perpindahannya secara

berturut-turut adalah 0,9 mm; 4,9 mm; 16,5 cm. Sehingga pergerakan terbesar terdapat pada tinggi gelombang 10 cm. Kemudian selanjutnya pada tabel 4.2 diberikan data perpindahan dari setiap variasi.

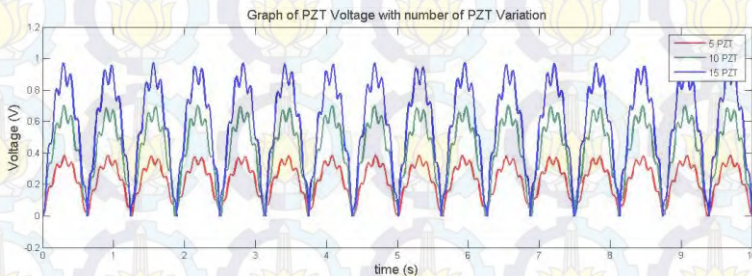
Tabel 4.2 Data perpindahan elemen PZT

F(Hz)	H(cm)	Jumlah PZT	RMSX (mm)
0.8	2 cm	5	1.1
		10	0.97265
		15	0.90409
	6 cm	5	5.7
		10	5.3
		15	4.9
	10 cm	5	19.3
		10	17.7
		15	16.5
1	2 cm	5	1.4
		10	1.3
		15	1.2
	6 cm	5	3
		10	2.8
		15	2.6
	10 cm	5	11.7
		10	10.8
		15	10
1,2	2 cm	5	1.5
		10	1.4
		15	1.3
	6 cm	5	2.8

		10	2.5
		15	2.2
	10 cm	5	7.6
		10	7
		15	6.5

4.2.4 Energi Bangkitan PZT Pada Masing-masing Frekuensi Dengan Variasi Jumlah PZT

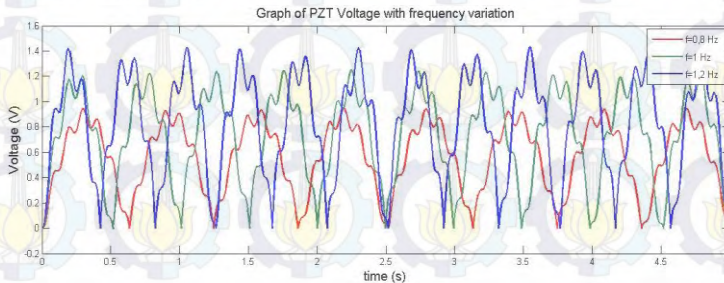
Pada subbab ini akan diberikan satu contoh analisa variasi tinggi gelombang setinggi 2 cm. Data variasi amplitude selanjutnya yaitu 6 cm dan 10 cm akan diberikan pada tabel 4.3. Setelah mendapatkan data perpindahan massa 1 kemudian mekanisme disimulasikan untuk diketahui voltase bangkitan pada mekanisme dengan variasi jumlah PZT. Maka dari pergerakan massa 1 akan didapatkan voltase bangkitan pada variasi frekuensi 0,8 Hz.



Gambar 4.9 Grafik voltase bangkitan pada frekuensi 0,8 Hz

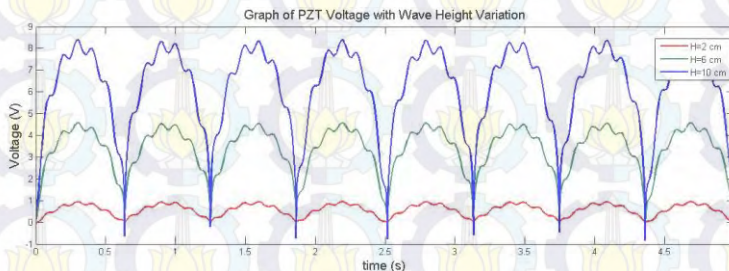
Pada gambar 4.9 menampilkan voltase bangkitan dengan tinggi gelombang 2 cm pada variasi frekuensi 0,8 Hz. Kemudian data voltase bangkitan tersebut diambil nilai RMS-nya masing-masing jumlah PZT sebanyak 5, 10, dan 15 PZT berturut-turut adalah 0,2404 V; 0,4417 V; 0,6158 V. Sehingga voltase

bangkitan terbesar yang terjadi pada gelombang 2 cm dengan frekuensi 0,8 Hz adalah pada jumlah PZT sebanyak 15 buah. Kemudian pada gambar 4.10 ditampilkan perbandingan voltase bangkitan yang terjadi dengan variasi frekuensi dengan tinggi gelombang 2 cm dan jumlah PZT 15 buah.



Gambar 4.10 Grafik voltase bangkitan dengan variasi frekuensi

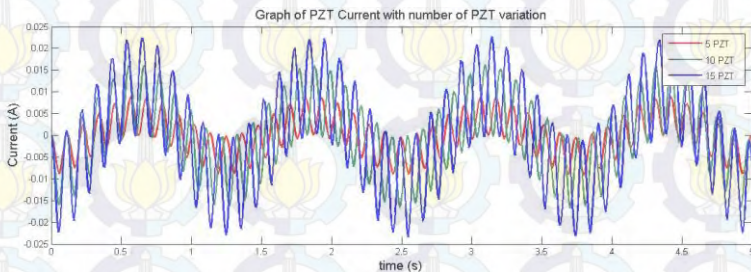
Pada gambar 4.10 menampilkan voltase bangkitan dengan tinggi gelombang 2 cm dengan jumlah elemen PZT sebanyak 15 buah. Kemudian data voltase bangkitan tersebut diambil nilai RMS-nya masing-masing variasi frekuensi 0,8; 1; dan 1,2 Hz berturut-turut adalah 0,6158 V; 0,7954 V; 0,872 V. Sehingga voltase bangkitan terbesar yang terjadi pada gelombang 2 cm dengan jumlah PZT sebanyak 15 buah adalah pada frekuensi 1,2 Hz.



Gambar 4.11 Grafik voltase bangkitan dengan variasi tinggi gelombang

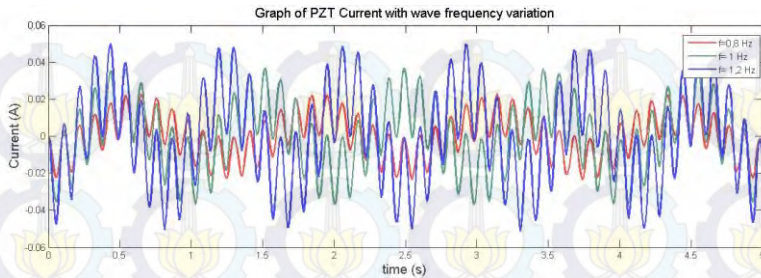
Gambar 4.11 menunjukkan grafik voltase bangkitan pada saat frekuensi gelombang 0,8 Hz dan jumlah PZT sebesar 15 buah dengan variasi tinggi gelombang, yaitu 2 cm; 6 cm; dan 10 cm. Dari hasil simulasi didapatkan data VRMS secara berturut-turut adalah 0,6158 V; 3,33 V; dan 5,37 V. Sehingga voltase bangkitan tertinggi terdapat pada tinggi gelombang sebesar 10 cm.

Kemudian dianalisa arus listrik bangkitan pada mekanisme dengan variasi jumlah PZT. Maka dari pergerakan massa 1 akan didapatkan arus bangkitan pada variasi frekuensi 0,8 Hz dengan tinggi gelombang 2 cm.



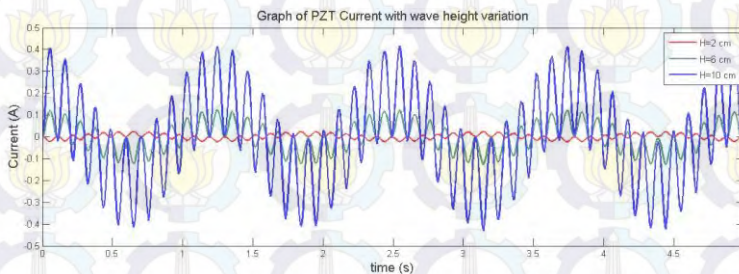
Gambar 4.12 Grafik arus bangkitan pada frekuensi 0,8 Hz

Pada gambar 4.12 ditampilkan arus bangkitan dengan tinggi gelombang 2 cm pada variasi frekuensi 0,8 Hz. Kemudian data arus bangkitan tersebut diambil nilai RMS-nya masing-masing dengan jumlah PZT sebanyak 5, 10, dan 15 PZT berturut-turut adalah 0,0052 A, 0,0097 A, 0,0135 A. Sehingga arus bangkitan terbesar yang terjadi pada gelombang 2 cm dengan frekuensi 0,8 Hz adalah pada jumlah PZT sebanyak 15 buah. Gambar 4.13 ditampilkan perbandingan arus bangkitan yang terjadi dengan variasi frekuensi gelombang laut.



Gambar 4.13 Grafik arus bangkitan dengan varisai frekuensi

Pada gambar 4.13 ditampilkan arus bangkitan dengan tinggi gelombang 2 cm dan jumlah PZT sebanyak 15 buah, variasi frekuensi gelombang 0,8 Hz; 1 Hz; 1,2 Hz. Kemudian data arus bangkitan tersebut diambil nilai RMS-nya masing-masing yaitu 0,0135 A; 0,0169 A; 0,0205 A. Sehingga arus bangkitan terbesar yang terjadi pada gelombang 2 cm dengan jumlah PZT sebanyak 15 buah adalah pada frekuensi 1,2 Hz.

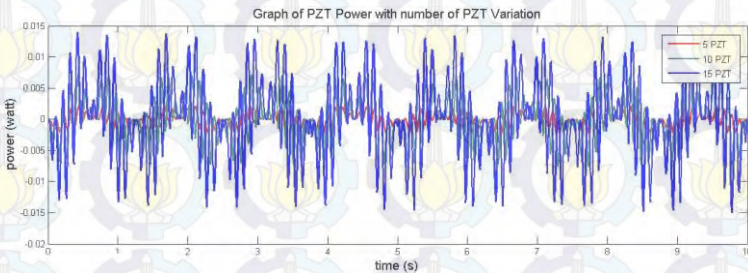


Gambar 4.14 Grafik arus bangkitan dengan variasi tinggi gelombang

Gambar 4.14 menunjukan grafik arus bangkitan dari elemen PZT dengan keadaan frekuensi gelombang 0,8 Hz dan jumlah elemen PZT sebanyak 15 buah. Dari data hasil simulasi didapatkan arus bangkitan dengan variasi tinggi gelombang 2 cm;

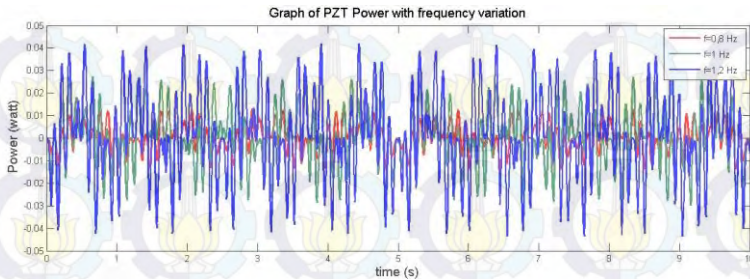
6 cm; dan 10 cm berturut-turut adalah 0,0135 A; 0,0172 A; dan 0,0747 A. Sehingga tinggi gelombang 10 cm mencapai arus bangkitan tertinggi dengan nilai 0,0747 A.

Setelah mendapatkan data voltase dan arus bangkitan, kemudian mekanisme disimulasikan untuk diketahui daya yang dihasilkan dengan variasi jumlah PZT.



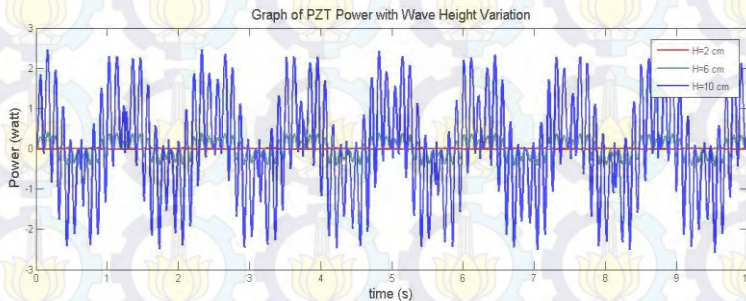
Gambar 4.15 Grafik daya pada frekuensi 0,8 Hz

Pada gambar 4.15 ditampilkan daya bangkitan dengan tinggi gelombang 2 cm pada variasi frekuensi 0,8 Hz. Kemudian data daya bangkitan tersebut diambil nilai RMS-nya masing-masing dengan jumlah PZT sebanyak 5, 10, dan 15 PZT berturut-turut adalah 0,00125 watt; 0,004284 watt; 0,008313 watt. Sehingga daya bangkitan terbesar yang terjadi pada gelombang 2 cm dengan frekuensi 0,8 Hz adalah pada jumlah PZT sebanyak 15 buah. Kemudian pada gambar 4.16 ditampilkan perbandingan daya bangkitan yang terjadi dengan variasi frekuensi gelombang laut.



Gambar 4.16 Grafik daya dengan variasi frekuensi

Pada gambar 4.16 ditampilkan daya bangkitan dengan tinggi gelombang 2 cm dan jumlah elemen PZT sebanyak 15 buah pada variasi frekuensi gelombang laut. Kemudian data daya bangkitan tersebut diambil nilai RMS-nya masing-masing dengan frekuensi gelombang 0,8 Hz; 1 Hz; 1,2 Hz berturut-turut adalah 0,008313 watt; 0,013442 watt; 0,017876 watt. Sehingga daya bangkitan terbesar yang terjadi pada gelombang 2 cm dengan jumlah PZT sebanyak 15 buah adalah pada frekuensi 1,2 Hz.



Gambar 4.17 Grafik daya dengan variasi tinggi gelombang

Gambar 4.17 menunjukkan grafik daya bangkitan pada mekanisme PLTGL yang telah disimulasikan dengan frekuensi gelombang 0,8 Hz dan jumlah elemen PZT sebanyak 15 buah. Hasilnya dengan variasi tinggi gelombang 2 cm; 6 cm; dan 10 cm

berturut-turut adalah 0,008313 watt; 0,05735 watt; dan 0,401632 watt. Sehingga tinggi gelombang 10 cm mencapai titik tertinggi daya bangkitan yang dihasilkan.

Tabel 4.3 Data Energi Bangkitan dengan variasi frekuensi, tinggi gelombang dan jumlah PZT

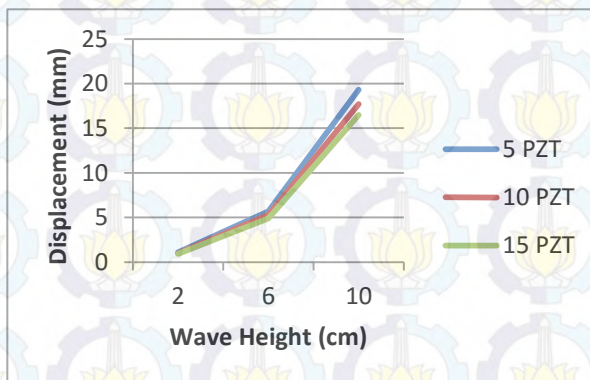
F(Hz)	H(cm)	Jumlah PZT	VRMS(volt)	IRMS (A)	DAYA (watt)
0.8	2 cm	5	0.2404	0.0052	0.00125
		10	0.4417	0.0097	0.004284
		15	0.6158	0.0135	0.008313
	6 cm	5	1.3012	0.0066	0.008588
		10	2.3948	0.0124	0.029696
		15	3.3343	0.0172	0.05735
	10 cm	5	2.2962	0.0289	0.06636
		10	4.4108	0.0537	0.23686
		15	5.3766	0.0747	0.401632
1	2 cm	5	0.3115	0.0067	0.002087
		10	0.5715	0.0122	0.006972
		15	0.7954	0.0169	0.013442
	6 cm	5	0.681	0.0085	0.005789
		10	1.2484	0.0155	0.01935
		15	1.7389	0.0216	0.03756
	10 cm	5	1.7919	0.037	0.0663
		10	3.4304	0.0675	0.231552
		15	4.9615	0.0937	0.464893
1,2	2 cm	5	0.3421	0.0081	0.002771
		10	0.6267	0.0148	0.009275
		15	0.872	0.0205	0.017876
	6 cm	5	0.3513	0.0102	0.003583

	10 cm	10	0.6445	0.0188	0.012117
		15	0.8974	0.0261	0.023422
		5	1.4385	0.0446	0.064157
		10	2.7555	0.0819	0.225675
		15	3.982	0.1137	0.452753

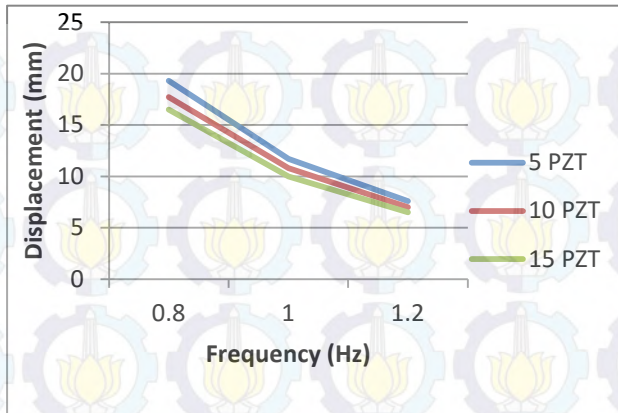
4.3 Pembahasan

4.3.1 Pengaruh Tinggi Gelombang, Frekuensi dan Jumlah PZT Terhadap Perpindahan Massa 1

Setelah dilakukan analisa mengenai perpindahan massa 1, maka selanjutnya dilakukan pembahasan mengenai pengaruh tinggi gelombang, frekuensi dan jumlah PZT terhadap perpindahan massa 1 dan elemen PZT yang nantinya akan berpengaruh terhadap voltase dan arus bangkitan yang akan dihasilkan oleh eleme PZT. Pada gambar 4.18 dan 4.19 akan diperlihatkan grafik perpindahan elemen PZT.



Gambar 4.18 Grafik perpindahan PZT terhadap tinggi gelombang



Gambar 4.19 Grafik perpindahan PZT terhadap frekuensi gelombang laut

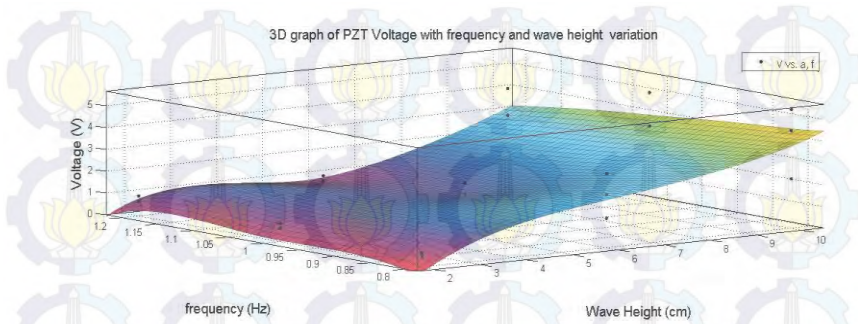
Pada gambar 4.18 merupakan grafik perpindahan elemen PZT pada frekuensi gelombang 0,8 Hz dan variasi tinggi gelombang. Dapat dilihat bahwa trend perpindahan elemen PZT mengalami kenaikan seiring bertambah besarnya tinggi gelombang yang dikenakan oleh mekanisme PLTGL. Pada tabel 4.3, dapat diketahui perpindahan yang terjadi pada jumlah elemen PZT sebanyak 5 buah dengan variasi tinggi gelombang 2, 6, dan 10 secara berturut-turut adalah 1,1 mm; 5,7 mm; 19,3 mm. Kemudian pada saat elemen PZT sebanyak 10 buah maka perpindahannya secara berturut-turut adalah 0,97265 mm; 5,3 mm; dan 17,7 mm sedangkan pada elemen PZT 15 buah, perpindahannya adalah 0,904 mm; 4,9 mm; 16,5 mm. Hal ini disebabkan oleh semakin tinggi gelombang maka semakin besar pula gaya yang akan dikenakan pada elemen PZT sehingga pergerakannya juga akan semakin besar. Hal ini berdasarkan dari gambar pergerakan gelombang laut pada gambar 4.2 yang menunjukkan semakin tinggi gelombang laut, maka gaya bangkitan yang akan bekerja di elemen PZT akan semakin besar pula. Dari gambar 4.18 juga dapat dilihat bahwa semakin banyak

jumlah elemen PZT maka semakin kecil perpindahan yang terjadi. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya penghambat pergerakan massa 1 sehingga pergerakannya menjadi semakin kecil. Maka dapat terlihat bahwa jumlah elemen PZT sebanyak 5 buah merupakan perpindahan yang sangat besar karena penghambat pergerakannya sangat sedikit.

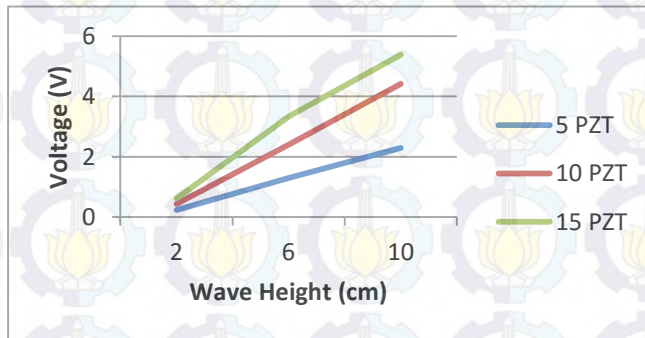
Pada gambar 4.19 diperlihatkan grafik perpindahan elemen PZT pada tinggi gelombang 10 cm dengan variasi frekuensi yang datanya dapat dilihat pada tabel 4.2. Pada saat jumlah elemen PZT 5 buah, perpindahan pada saat frekuensi 0,8 Hz; 1 Hz; dan 1,2 Hz berturut-turut adalah 19,3 mm; 11,7 mm; dan 7,6 mm. Sedangkan pada saat elemen PZT 10 buah perpindahannya berturut-turut adalah 17,7 mm; 10,8 mm; 7 mm. Ketika jumlah elemen PZT sebanyak 15 buah perpindahannya berturut-turut adalah 16,5 mm; 10 mm; dan 6,5 mm. Sehingga semakin besar frekuensi gelombang maka semakin kecil pergerakan elemen PZT pada pemodelan mekanisme. Hal ini disebabkan oleh frekuensi gelombang berbanding terbalik dengan F_{wave} (gaya bangkitan gelombang laut) berdasarkan persamaan (2.15) yaitu semakin besar frekuensi gelombang maka semakin kecil pula F_{wave} yang bekerja pada elemen PZT. Terlihat juga perpindahan dengan jumlah elemen PZT sebanyak 5 buah merupakan perpindahan yang terbesar dikarenakan sedikitnya penghambat (elemen PZT) gerakan massa 1.

4.3.2 Pengaruh Tinggi Gelombang, Frekuensi, dan Jumlah PZT Terhadap Energi Listrik yang Dihasilkan

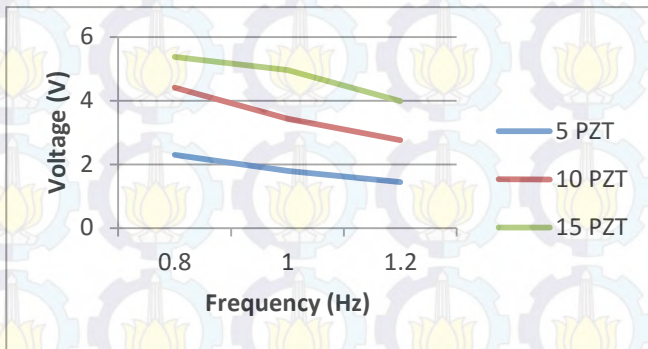
Setelah dilakukan analisa mengenai frekuensi, arus dan daya bangkitan yang dihasilkan dari simulasi, maka selanjutnya dilakukan pembahasan mengenai pengaruh tinggi gelombang dan frekuensi terhadap voltase, arus dan daya yang dihasilkan. Pada gambar 4.20; 4.23 dan 4.26 akan diperlihatkan grafik voltase, arus dan daya dengan varian frekuensi dan tinggi gelombang.



Gambar 4.20 Grafik 3D voltase bangkitan dengan variasi frekuensi dan tinggi gelombang



Gambar 4.21 Grafik voltase bangkitan dengan variasi tinggi gelombang dan jumlah PZT



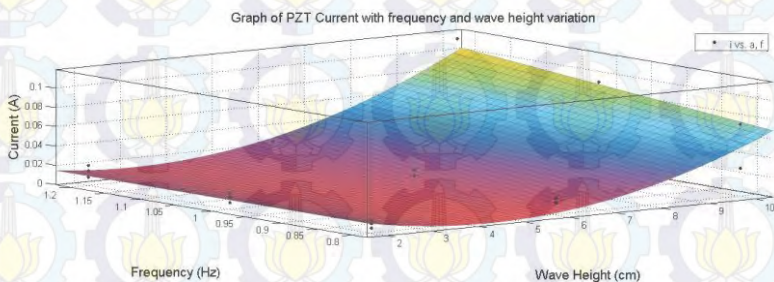
Gambar 4.22 Grafik voltase bangkitan dengan variasi frekuensi gelombang dan jumlah PZT

Data voltase yang telah didapatkan dari simulasi PLTGL tipe pelampung-piezoelectric seperti yang ada pada tabel 4.3, kemudian dilakukan metode *polynomial fitting data* sehingga didapatkan grafik 3D seperti yang ada pada gambar 4.20 dan grafik dengan variasi tinggi dan variasi gelombang terhadap jumlah elemen PZT seperti pada gambar 4.21 dan gambar 4.22. Dari grafik 3D dan 2D yang telah didapatkan dapat dilihat bahwa semakin besar tinggi gelombang yang dikenakan pada model PLTGL maka voltase bangkitannya semakin tinggi serta semakin banyak elemen PZT yang digunakan, maka voltasenya akan semakin besar pula. Namun, voltase bangkitan akan menurun sejalan dengan besarnya nilai frekuensi gelombang laut yang dikenakan. Terlihat bahwa voltase bangkitan terbesar ada pada frekuensi gelombang 0,8 Hz dengan tinggi gelombang 10 cm.

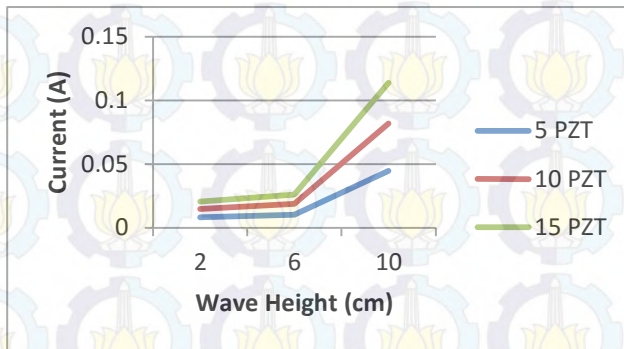
Hal ini dikarenakan semakin tinggi amplitudo gelombang, maka gaya bangkitannya atau F_{wave} akan semakin tinggi pula berdasarkan persamaan (2.15). Jika gaya bangkitannya semakin tinggi maka gaya yang bekerja yang akan menggerakkan

elemen PZT akan semakin tinggi sehingga defleksi yang akan terjadi di elemen PZT akan semakin besar dan mengakibatkan voltase bangkitannya akan semakin besar pula. Jumlah elemen PZT juga berpengaruh terhadap voltase bangkitan yang dihasilkan. Pada gambar 4.21 diperlihatkan bahwa jumlah elemen PZT sebanyak 15 buah menghasilkan voltase bangkitan yang paling besar. Semakin banyak elemen PZT maka sebenarnya voltase bangkitan per elemen PZT akan semakin kecil, namun perbedaannya sangat kecil sehingga ketika dikalikan dengan jumlah elemen PZT yang divariasikan maka voltase bangkitannya akan semakin besar. Tetapi grafik voltase mengalami penurunan ketika peningkatan frekuensi gelombang terjadi. Semakin besar frekuensi gelombang, maka voltase bangkitannya semakin kecil. Hal ini dikarenakan ketika frekuensi gelombang laut semakin besar, maka gaya yang dihasilkan untuk menggerakkan elemen PZT akan semakin kecil pula sehingga menyebabkan menurunnya voltase bangkitan yang dihasilkan oleh elemen PZT. Dari persamaan (2.15) diketahui bahwa hubungan frekuensi gelombang dan F_{wave} berbanding terbalik.

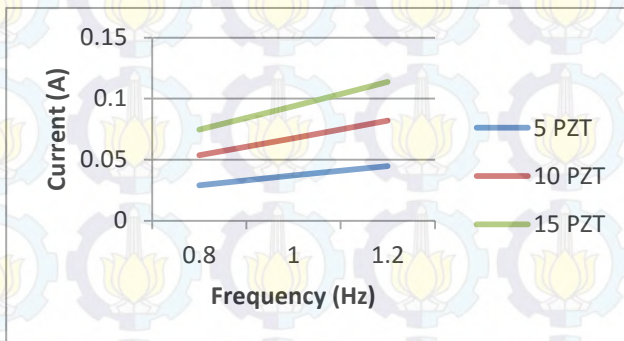
Untuk mendapatkan grafik 3D dari arus listrik bangkitan, data yang telah didapatkan di tabel 4.3 dianalisa dengan metode *polynomial fitting data* dan *robust bisquare* sehingga didapatkan grafik seperti pada gambar 4.23.



Gambar 4.23 Grafik 3D arus bangkitan dengan variasi frekuensi dan tinggi gelombang



Gambar 4.24 Grafik arus bangkitan dengan variasi tinggi gelombang dan jumlah elemen PZT

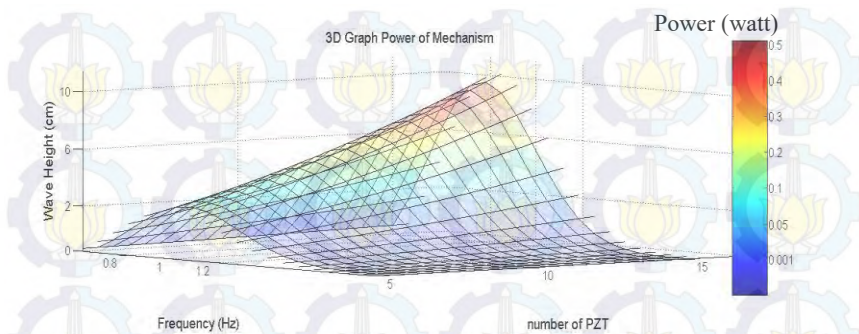


Gambar 4.25 Grafik arus bangkitan dengan variasi frekuensi gelombang dan jumlah elemen PZT

Dari grafik 3D pada gambar 4.23 dan gambar 4.24 yang telah didapatkan dapat dilihat *trend* grafik arus bangkitan semakin naik ketika tinggi gelombang semakin naik pula, dan pada gambar 4.25 mengalami kenaikan pula ketika frekuensi

gelombang semakin besar. Hal ini disebabkan berdasarkan persamaan (2.23) yaitu persamaan arus bangkitan dari elemen PZT. Arus bangkitan dipengaruhi oleh kecepatan gerakan elemen PZT. Ketika tinggi gelombang semakin besar, maka defleksi yang terjadi akan semakin besar pula dan jika elemen PZT hendak kembali ke titik semula maka kecepatannya akan besar untuk mencapai titik semula. Hal ini didukung oleh persamaan (2.23) yang dimana arus bangkitan yang dihasilkan elemen PZT dipengaruhi oleh kecepatan pergerakan elemen PZT. Semakin tinggi frekuensi dari gelombang laut, maka semakin mendekati pula frekuensi natural dari elemen PZT. Sehingga semakin besar frekuensi gelombang laut, semakin besar pula kecepatan pergerakan elemen PZT sehingga semakin besar pula arus bangkitan yang dihasilkan. Sedangkan jumlah elemen PZT sangat berpengaruh terhadap nilai arus bangkitan. Pada gambar 4.24 dan 4.25 dapat dilihat bahwa arus bangkitan yang paling besar dihasilkan oleh jumlah elemen PZT sebesar 15 buah. Hal ini dikarenakan semakin banyak jumlah elemen PZT maka semakin banyak pula faktor pengkali pada nilai arus bangkitan per satu elemen PZT. Sehingga dari gambar 4.23 dapat diketahui bahwa arus bangkitan terbesar terdapat pada kondisi frekuensi gelombang 1,2 Hz dan tinggi gelombang 10 cm.

Setelah dilakukan analisa terhadap pengaruh frekuensi dan amplitude terhadap energy bangkitan, maka pada gambar 4.26 merupakan pengaruh dari frekuensi, tinggi gelombang dan jumlah PZT terhadap energy listrik yang dihasilkan.



Gambar 4.26 Grafik Daya dengan variasi frekuensi, tinggi gelombang dan jumlah PZT

Pada gambar 4.26 diperlihatkan grafik 3 dimensi dari simulasi yang telah dilakukan dengan menggunakan metode *Fitting Data* dan *Binomial Gauss Equation*. Dapat dilihat bahwa pada saat frekuensi gelombang 1 Hz, energi listrik yang dihasilkan mengalami titik optimum. Tetapi untuk tinggi gelombang dan jumlah PZT yang digunakan, semakin tinggi gelombang dan semakin banyak elemen *Piezoelectric* yang digunakan maka semakin besar pula energi listrik yang dihasilkan. Namun frekuensi optimum berada pada frekuensi gelombang 1 Hz. Hal ini dikarenakan titik potong antara nilai maksimum voltase bangkitan berada pada frekuensi gelombang 0,8 Hz dan nilai arus bangkitan maksimum berada pada frekuensi gelombang 1,2 Hz berada pada nilai frekuensi 1 Hz dengan menggunakan perumusan untuk mencari daya adalah $P = v \times I$. Sehingga titik tertinggi, yaitu dengan nilai daya bangkitan 0,4648 watt, dari grafik 3 dimensi pada gambar 4.26 memiliki nilai frekuensi sebesar 1 Hz; tinggi gelombang 10 cm; serta jumlah elemen *Piezoelectric* sebanyak 15 PZT yang akhirnya membuat pemodelan PLTGL dengan tipe Pelampung-*Piezoelectric* mencapai titik optimumnya.

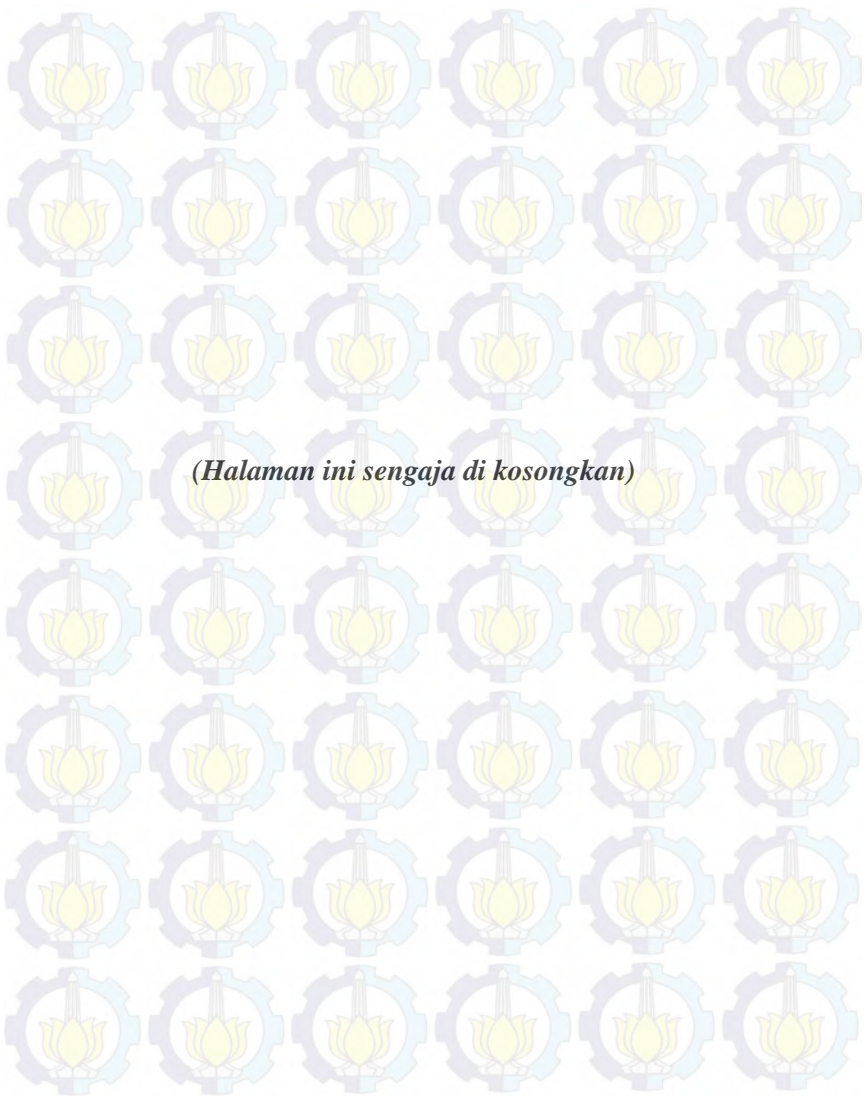
4.4 Skala Mekanisme

Sebelum mekanisme diletakkan pada laut lepas, efisiensi mekanisme harus dihitung terlebih dahulu dengan membandingkan P_{wave} pada gelombang laut asli dengan P_{wave} skala laboratorium dan dicari perbandingan skalanya kemudian dicari energi *density*-nya dari pemodelan mekanisme. Energi density merupakan perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh simulasi dengan volume pemodelan mekanisme yang telah dimodelkan sebelumnya. Dengan bantuan software, volume pemodelan mekanisme PLTGL tipe pelampung-piezoelectric adalah $4,886 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ sehingga diperoleh energy density sebesar $9512,893983 \text{ watt/m}^3$ kemudian dicari perbandingannya dengan daya keluaran dibagi dengan volume pemodelan mekanisme yang telah di skalakan seperti pada tabel 4.4 berikut ini

Tabel 4.4 Tabel skala mekanisme PLTGL

Skala	H (m)	Pwave (watt)	Volume (m^3)	Density Energy (watt/m^3)	P Mekanisme (watt)
1:1	0.1	9.57763	0.00004	9512.893	0.4648
10:1	1	957.763	0.0004	9512.893	4.648
20:1	2	3831.05	0.0009	9512.893	9.296

Dapat terlihat dari tabel 4.5, pada skala 10:1 dengan tinggi gelombang 1 meter diharapkan pemodelan mekanisme ini menghasilkan daya sebesar 4,648 watt. Untuk skala 20:1 dengan tinggi gelombang 2 meter diharapkan pemodelan mekanisme menghasilkan daya sebesar 9,296 watt.



(Halaman ini sengaja di kosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari analisa data dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Jumlah elemen Piezoelectric berpengaruh terhadap energi listrik bangkitan yang dihasilkan. Semakin banyak elemen *Piezoelectric* pada pemodelan mekanisme maka semakin besar pula energi yang dihasilkan oleh pemodelan PLTGL tipe pelampung-*piezoelectric*. Nilai daya bangkitan terbesar pada saat 0,8 Hz adalah 0,40163 watt; pada frekuensi 1 Hz adalah 0,4648 watt; dan pada frekuensi 1,2 Hz adalah 0,4527 watt dengan jumlah elemen PZT masing-masing sebanyak 15 buah.
2. Frekuensi dan tinggi gelombang berpengaruh terhadap energi bangkitan yang dihasilkan. Semakin tinggi gelombang laut yang disimulasikan maka energi bangkitanya akan semakin tinggi. Sedangkan semakin tinggi frekuensi gelombang laut yang disimulasikan maka semakin kecil energi listrik yang dihasilkan. Nilai energi listrik bangkitan meningkat ke frekuensi 0,8 Hz, mencapai puncak pada frekuensi 1 Hz dan mengalami penurunan pada frekuensi 1,2 Hz dengan tinggi gelombang sebesar 10 cm sedangkan daya bangkitan akan semakin meningkat jika tinggi gelombang semakin besar. Pada frekuensi 1 Hz nilai daya yang dihasilkan pada tinggi gelombang 2 cm, 6 cm, dan 10 cm berturut-turut adalah 0,0134 watt; 0,03756 watt; dan 0,4648 watt.
3. Daya listrik bangkitan terbesar yang mampu dihasilkan oleh pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) tipe Pelampung-Piezoelectric dengan 3 variasi frekuensi gelombang laut (0,8 Hz; 1 Hz; 1,2 Hz), 3 variasi tinggi gelombang laut (2 cm, 4 cm, 6 cm) dan 3 variasi jumlah elemen PZT (5, 10, 15) terjadi ketika pemodelan mekanisme dikenakan frekuensi gelombang 1 Hz dengan 10 cm tinggi

gelombang dan menggunakan 15 buah elemen PZT, yaitu dengan nilai 0,4648 watt.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diajukan untuk memperbaiki penelitian dalam tugas akhir ini antara lain:

1. Penelitian ini dilanjutkan dengan rancang bangun dari pemodelan PLTGL tipe pelampung-*piezoelectric*.
2. Pemilihan material dari mekanisme disesuaikan dengan material yang terdapat di pasaran.
3. Untuk simulasi berikutnya dibutuhkan gaya eksitasi yang lebih lama (dalam tugas akhir ini gaya eksitasi yang terjadi hanya sebesar 10 s) dan lebih stabil.



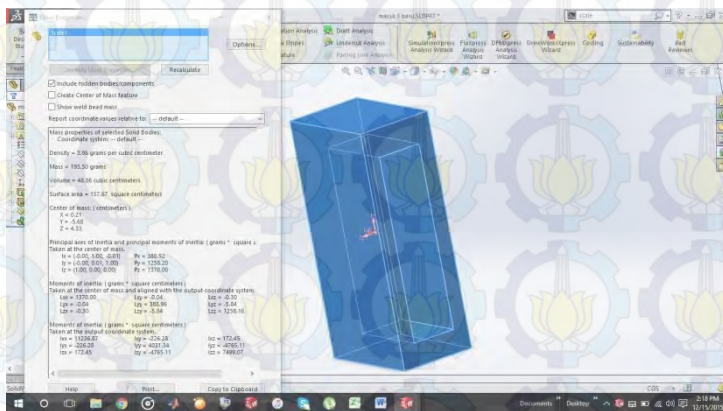
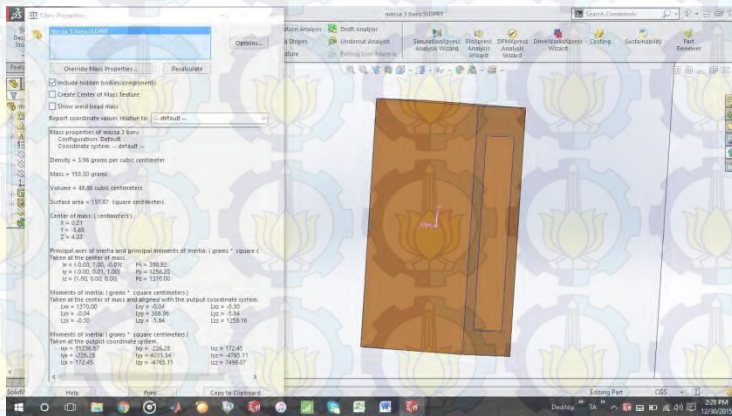
DAFTAR PUSTAKA

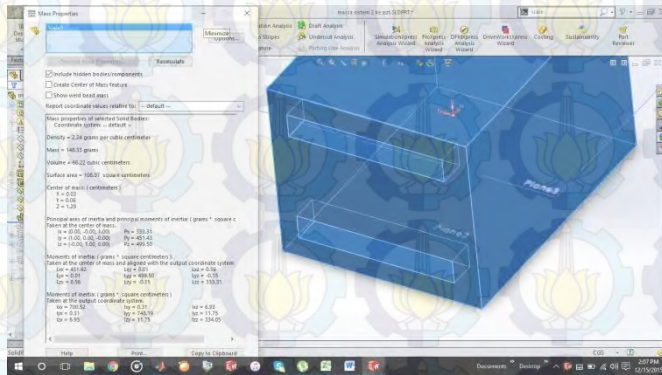
- [1] Indraswara, Joenta, 2015. **“Studi Karakteristik Voltase Bangkitan yang Dihasilkan Mekanisme Vibration Energy Harvesting Menggunakan Metode Cantilever Piezoelectric-Pengungkit Degan Variasi Jumlah Blade Pemukul dan Frekuensi Sumber Getar”**. Tugas Akhir pada Jurusan Teknik Mesin: ITS Press
- [2] Mineto, Andreza T. 2010. **“Modeling of a Cantilever Beam for Piezoelectric Energy Harvesting”**. *9th Brazilian Confrence on Dynamics, Control and their Applications*.
- [3] Priya, Shashank. Daniel J. Inman. 2009. **“Energy Harvesting Technologies”**, Springer Science, Business Media
- [4] R. Murray, J. Rastegar. 2009. **“Novel Two-Stage Piezoelectric-Based Ocean Wave Energy Harvester for Moored or Unmoored Buoys”**. *Omnitek Partners, LLC, Bay Shore, Long Island, NY*.
- [5] S. Rao, Singiresu, 2004. **“Mechanical Vibration”**. Singapore: Prentice Hall PTR.
- [6] Vinolo, Carlos, et al., 2010. **“Sea Waves Energy Harvester Based on Impacts”**. *SARTI Research*
- [7] McCormick, Michael E. 2009. **“Ocean Engineering Mechanics with Applications”**. New York: Cambridge Press



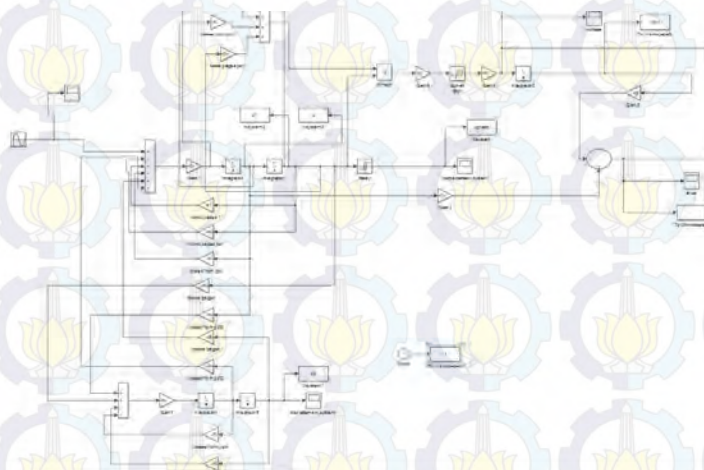
LAMPIRAN

Lampiran 1 : Hasil simulasi untuk mendapatkan volume dan berat benda

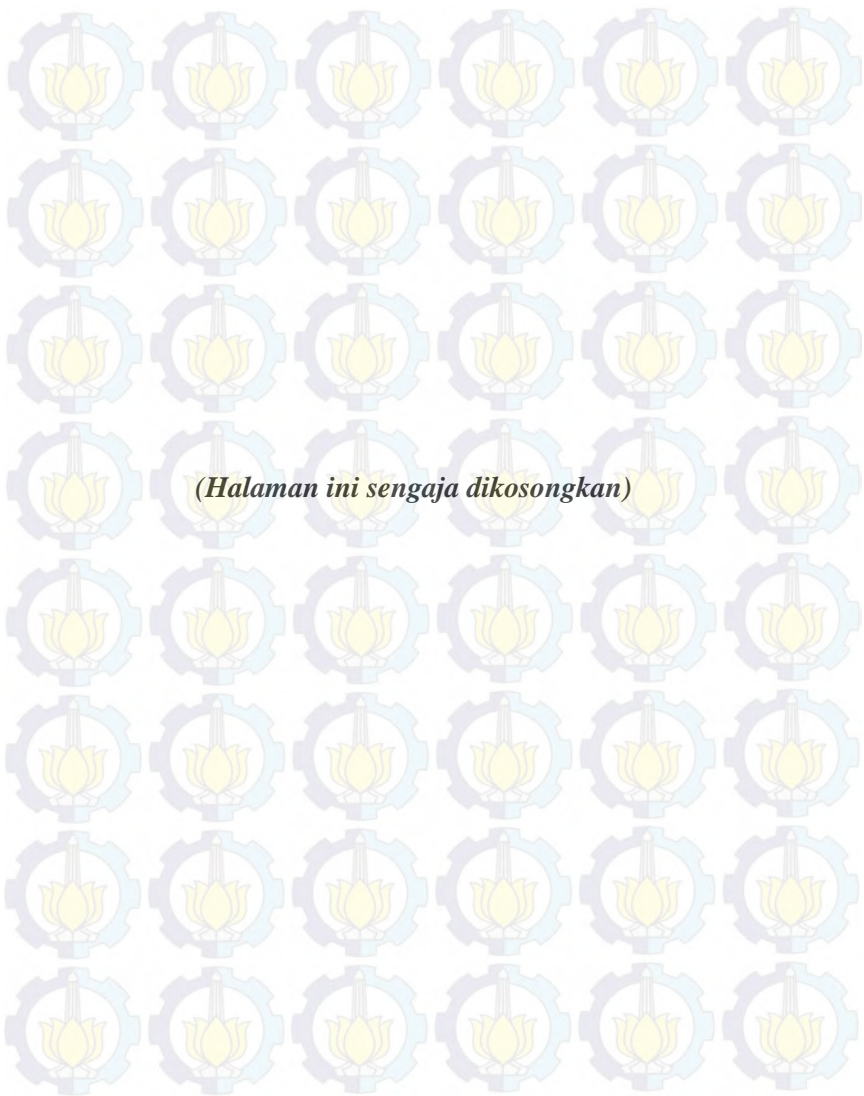




Lampiran 2 : block diagram Simulink



```
4 - k1=600 %dalam newton per m
5 - k2=1000 %dalam n per m
6 - k31=0.12
7 - m1=0.145 %dalam kg
8 - m2=0.150 %dalam kg
9 - mpel=0.363
10 - massatotal=0.505 %dalam kg
11 - cp=0.000244 %mikrofarad
12 - n=15
13 - cc=2/(cp*n)
14 - defleksi=0.005
15 - Fp=0.0031167 %newton
16 - kpzt=17.5 %newton per meter
17 - cpzt=0.000056
18 - mpzt=0.0006
19 - phi=3.14
20 - mtotpz= n*mpzt
21 - ctotpz= n*cpzt
22 - meq1=m1+(n*mpzt)
23 - kpztot=(n*kpzt)
24 - cpzt1=n*cpzt
25 - K=[k1+(n*kpzt) 0; 0 k2]
26 - M=[m1+(n*mpzt) 0; 0 m2]
27 - [V,D]=eig(K,M);
28 - w=sqrt(D);
29 - w_hz=w/(2*pi)
30
31 - H=0.02
32 - ro=1000
33 - f=0.8 %dalam hz
```



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

RIWAYAT HIDUP



Yabes David Losong dilahirkan di Ujung Pandang tanggal 24 Maret 1993. Penulis yang dilahirkan dari dua latar belakang suku keluarga yang berbeda yaitu Toraja dan Tionghoa, merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan Frederik Losong dan Hermin. Penulis memulai menempuh pendidikan formal di TK Kristen Filadelfia Makassar, kemudian melanjutkan ke SD Filadelfia Makassar dan SMP Nusantara

Makassar. Kemudian pada tahun 2011 penulis menyelesaikan pendidikan formal di kota Makassar di SMAN 17 Makassar dan melanjutkan studi yang lebih tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Jurusan S1 Teknik Mesin tahun akademik 2011/2012.

Di bangku perkuliahan, penulis mengikuti banyak aktifitas diluar aktifitas perkuliahan. Pertama penulis aktif dalam kegiatan organisasi di DIMENSI teknik mesin. Tidak hanya itu, penulis juga merupakan pendiri dari salah satu organisasi minat dan bakat yang ada di ITS yaitu *ITS MUN CLUB*, kemudian menjadi *the acting Secretary General* pada tahun 2014-2015. Passion penulis dalam bidang negosiasi dan diplomasi membawanya untuk menjadi seseorang yang lebih *expert*. Pada tahun 2013 penulis mengikuti Jogja *International MUN* sebagai *observer* di *ECOSOC Committee*, kemudian pada tahun yang sama penulis mengikuti Jakarta Model United Nations dan mendapatkan penghargaan *the best 5 speaker*. Pada tahun 2014, penulis mengikuti lomba MUN di Universitas Airlangga dan mendapat predikat *the best 3 speaker*. Dan di tahun yang sama penulis bertolak ke negeri Jepang untuk mengikuti lomba perserikatan bangsa-bangsa yang terbesar di Jepang yaitu

JUEMUN dan mendapatkan predikat *the Outstanding Delegate*. Penulis juga memiliki prestasi di bidang akademik, salah satunya penulis juga merupakan mawapres dari Teknik Mesin angkatan 2011 dan mewakili Teknik Mesin dalam pemilihan *ITS Heroes* pada tahun 2014. Lalu pada tahun 2015 tepatnya di bulan Februari, penulis berangkat ke Amerika Serikat untuk mengikuti lomba sidang PBB terbesar di dunia yaitu *Harvard National Model United Nations* di *Harvard University* dan memenangkan kompetisi dan mendapat penghargaan *The fellow of The best social venture challenge* yang diberikan di *Harvard University*. Di tahun yang sama penulis juga mendapatkan gelar “Pahlawan Masa Kini” oleh salah satu stasiun televisi swasta dan gelar “Inspirator Muda Nusantara” oleh salah satu organisasi non-pemerintah yang ada di Indonesia. Sebelum melepas predikat sebagai mahasiswa ITS, Penulis banyak mengisi beberapa acara sebagai pembicara baik acara di dalam ITS maupun diluar ITS.

Selama perkuliahan ini, penulis juga aktif dalam kegiatan akademik dan di laboratorium. Spesifikasi bidang studi penulis adalah Desain dan masuk dalam laboratorium Vibrasi dan Sistem Dinamis. Dalam Laboratorium dan akademik, penulis aktif menjadi asisten praktikum mekanika getaran, serta menjadi asisten professor pada mata kuliah Mekanika Kekuatan Material. Dan dari laboratorium ini juga penulis menulis Tugas Akhir nya dan akhirnya mendapatkan gelar Sarjana pada tahun 2016.

Penulis memiliki hobi nonton dan travelling. Untuk semua informasi, saran dan kritik dalam Tugas Akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email yabesdavidlosong@gmail.com.